

# Ohutlevykappaleen valmistuksen suunnittelu

Eetu Ekonen

Opinnäytetyö

Toukokuu 2017

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), kone- ja tuotantotekniikan tutkinto-ohjelma

Kunnossapito

Tekijä (t) Ekonen, Eetu	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Huhtikuu 2017
	Sivumäärä	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty:
Työn nimi <b>Ohutlevykappaleen valmistuksen suunnittelu</b>		
Tutkinto-ohjelma Konetekniikka, kunnossapito		
Työn ohjaaja (t) Parviainen Miikka, Oksanen Jaakko		
Toimeksiantaja (t) Elomatic Paper & Mechanical Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Elomatic Paper &amp; Mechanical Oy ja lähtökohtana olivat toimeksiantajan asiakasyrityksen tavoitteet alentaa valmistuskustannuksiaan. Kustannuksia oli tarkoitus alentaa korvaamalla eräiden ohutlevykappaleiden alihankinta omalla valmistuksella.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella tarvittavat työkalut ja menetelmät kohteena olevien ohutlevykappaleiden valmistamista varten, sekä vaadittavien koneiden ja laitteiden määritys ja alustava valinta. Työkalujen detajisuunnittelu rajattiin myöhemmin niiden valmistuksesta vastaavalle yritykselle.</p> <p>Työ toteutettiin mallintamalla kohteena olleet kappaleet, sekä suunniteltiin työnvaiheistus. Vaiheistuksen mukaan laskettiin tarvittavat leikkaus- ja taivutusvoimat, jotka toimivat perustana koneiden valinnalle. Lisäksi tarkasteltiin valmistuslinjan elinkaarikustannuksia ja takaisinmaksuaikaa suhteessa aiempiin alihankintakustannuksiin. Työn edetessä tuli tarpeen myös suorittaa riskiarvio uudesta koneyhdistelmästä ja lopuksi kohteelle tehtiin alustava kunnossapitosuunnitelma.</p> <p>Työn tuloksina saatiin varmistus valmistuksen aloittamisen kannattavuudesta ja perustelut koneiden valinnalle, sekä muut huomioon otettavat asiat valmistuksen aloittamiseen.</p> <p>Työn tuloksia voidaan pitää luotettavina, koska useiden eri toimittajien ja valmistajien kanssa käydyt keskustelut olivat samassa linjassa tehtyjen valintojen ja toistensa kanssa.</p>		
<p>Avainsanat (<a href="#">asiasanat</a>)</p> <p>Ohutlevy, jonotyökalu, työkalusuunnittelu, LCC -analyysi</p>		
Muut tiedot		

Author(s) Ekonen, Eetu	Type of publication Bachelor's thesis	Date April 2017
		Language of publication: Finnish
	Number of pages	Permission for web publication: x
Title of publication <b>Engineering of sheet metal part manufacturing</b>		
Degree programme Mechanical Engineering, maintenance		
Supervisor(s) Parviainen Miikka, Oksanen Jaakko		
Assigned by Elomatic Paper & Mechanical Oy		
<p>Abstract</p> <p>This bachelor's thesis was assigned by Elomatic Paper &amp; Mechanical Oy and the starting point was the objective of the client company to reduce manufacturing costs. The plan was to reduce the costs by replacing the subcontractor's pieces of sheet metal with their own manufacturing operations.</p> <p>The aim of the thesis was to design the necessary tools and methods for the preparation of the sheet metal pieces in question, as well as to determine the machinery and equipment required, and conduct the preliminary selection. However, the detail design of tools was limited to the company which will produce them.</p> <p>The work started by 3D modelling the pieces and sequencing. The necessary shear and bending forces were calculated according to the sequencing, to motivate the choice of machines. Also, the manufacturing cost of the life cycle and the payback time were compared to the previous purchasing costs. As the work progressed it became necessary to execute the risk assessment of the new combination of the machinery and, finally, a preliminary maintenance plan was created.</p> <p>As a result of the study confirmed the profitability of starting the manufacturing. Additionally, it motivated choosing the machinery, and gave answers to other matters to be considered in the initiation of the manufacturing process.</p> <p>The results can be considered reliable because the discussions with many different suppliers and manufacturers with the talks were aligned with the choices made and with each other.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> )		
Sheet metal, progressive tool, tool design, LCC -analysis		
Miscellaneous		

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Opinnäytetyön lähtökohdat.....</b>	<b>5</b>
1.1	Työn tavoitteet ja rajaukset .....	5
1.2	Toimeksiantajan esittely.....	6
<b>2</b>	<b>Ohutlevytuotteiden valmistus.....</b>	<b>7</b>
2.1	Valmistusmenetelmät .....	7
2.1.1	Mekaaninen leikkaaminen .....	7
2.1.2	Meistotekniikka .....	10
2.1.3	Taivuttaminen.....	13
2.1.4	Muut muovausmenetelmät.....	17
2.2	Suunnittelussa huomioitavaa .....	18
2.2.1	Muotoilu .....	18
2.2.2	Lävistykset .....	19
2.2.3	Leikkaukset .....	19
2.2.4	Taivutukset .....	20
2.2.5	Materiaalin ominaisuudet .....	20
<b>3</b>	<b>Jonotyökalut .....</b>	<b>21</b>
3.1	Työkalun rakenne .....	22
3.2	Työkalujen mitoitus.....	24
3.3	Työkalujen materiaalit.....	27
3.4	Työkalujen teroitus.....	28
<b>4</b>	<b>Koneiden valinta.....</b>	<b>28</b>
4.1	Puristimet .....	28
4.1.1	Epäkeskopuristin.....	29
4.1.2	Hydropneumaattinen puristin .....	31
4.2	Haspeli .....	33
4.3	Pihtisyöttölaite .....	34

<b>5</b>	<b>Koneturvallisuus.....</b>	<b>35</b>
5.1	Määritelmät ja lainsäädäntö .....	35
5.2	Vaatimuksenmukaisuus.....	37
5.3	Riskien arviointi .....	37
5.4	Turvallinen konelinja .....	39
5.5	Mekaanisten puristimien turvallisuus .....	40
<b>6</b>	<b>Valmistuksen suunnittelu .....</b>	<b>41</b>
6.1	Kappaleiden vaatimukset .....	41
6.2	Valmistuksen vaatimukset .....	41
6.3	Työn vaiheistus .....	42
6.4	Tuotantonopeus .....	45
<b>7</b>	<b>Vaihtoehtojen vertailu.....</b>	<b>46</b>
7.1	Toimittajien vertailu .....	46
7.2	Koneiden vertailu .....	47
7.3	Työkalujen vertailu .....	48
7.4	Materiaalin vertailu .....	49
<b>8</b>	<b>Kustannuslaskelmat.....</b>	<b>50</b>
8.1	LCC analyysi .....	50
8.2	Valmistuskustannus.....	53
<b>9</b>	<b>Puristinlinja .....</b>	<b>53</b>
<b>10</b>	<b>Kunnossapito.....</b>	<b>55</b>
10.1	RCM - menetelmä.....	55
10.2	Alustavan kunnossapitosuunnitelman laatiminen .....	56
<b>11</b>	<b>Tulosten arviointi .....</b>	<b>59</b>
<b>12</b>	<b>Pohdinta.....</b>	<b>60</b>
	<b>Lähteet .....</b>	<b>62</b>
	<b>Liitteet.....</b>	<b>66</b>
	Liite 1. Työkalun voimien laskenta .....	66

Liite 2.	Riskiarvio.....	67
Liite 3.	Alihankkijoiden vertailu .....	69
Liite 4.	LCC – laskenta, lähtötiedot.....	70
Liite 5.	LCC – laskenta, tulokset.....	71
Liite 6.	Vika ja vaikutusanalyysi .....	72

## Kuviot

Kuvio 1. Suuntaisleikkaus .....	8
Kuvio 2. Leikkauskulma .....	9
Kuvio 3. Lävistys .....	12
Kuvio 4. Särmäys .....	14
Kuvio 5. Taivutus taivutuskoneella.....	16
Kuvio 6. Taivutus rullataivuttimella.....	16
Kuvio 7. Jonotyökalut (Keywordsuggest – kuvagalleria).....	23
Kuvio 8. Alatyökalun mitoitus pistimen mukaan .....	26
Kuvio 9. Epäkeskopuristin (Riikone Oy).....	29
Kuvio 10. Hydropneumaattinen puristin (Gpa-puristimet).....	32
Kuvio 11. Haspeli (PA) .....	33
Kuvio 12. Pihtisyöttölaite (Herrblitz).....	34
Kuvio 13. Työn vaiheistus .....	43
Kuvio 14. Työn vaiheistus 2 .....	44
Kuvio 15. Viimeinen työvaihe.....	45
Kuvio 16. Puristinlinja.....	54
Kuvio 17. Toiminnallinen mallinnus .....	57

## Taulukot

Taulukko 1. Kaavamerkkien selitykset, leikkausvoimat .....	10
Taulukko 2. Kaavamerkkien selitykset, taivutukset .....	15
Taulukko 3. Työkalujen suositellut leikkausvälykset.....	25
Taulukko 4. Työkalujen materiaalien vertailu .....	27
Taulukko 5. Epäkeskopuristimen valinta.....	30
Taulukko 6. Arvopistetaulukko.....	48
Taulukko 7. Materiaalin kustannusvertailu.....	50

# 1 Opinnäytetyön lähtökohdat

Opinnäytetyön tilaaja oli Elomatic Paper & Mechanical Oy ja työn ohjaajana yrityksessä toimi Kari Toivanen. Työn lähtökohtana olivat asiakkaan hakemat kustannussäästöt ohutlevyosien valmistamisessa, koska kappaleiden menekki on hyvin suurta. Työn kohteena olleesta kappaleesta valmistetaan neljää eri kokoa, joiden lisäksi kappaleilla ei ollut muita eroja keskenään. Kappaleet ovat pienehköjä osia, joista suurinkin on alle 75x50x50. Alustavasti erillisen koneen valmistus tai hankinta oli kannattavaa, joten työn pääpaino oli kappaleen valmistuksenaloittamista varten tarvittavien työkalujen ja menetelmien suunnittelu sekä sopivien koneiden valinta. Kappaleiden muotojen vuoksi valmistus edellytti useampia työvaiheita. Opinnäytetyö oli pääasiassa kehittämistyötä, mutta myös soveltuvien menetelmien tutkimusta. Menetelmien tutkimus suoritettiin kvalitatiivisena, eli laadullisena tutkimuksena, kvantitatiivisen eli numeerisen tutkimuksen rajoittuessa lähinnä koneiden ja toimittajien vertailuun. Kvalitatiivista tutkimusmenetelmää käytettiin toimittajien vertailuun, koska koneista ja laitteista oli saatavilla numero- ja hintatietoa, jota pystyttiin vertailemaan.

Tietoperustaa etsittiin kirjallisuudesta, mutta eri työkalu- ja konevalmistajat osoittautuivat ajoittain jopa paremmiksi tietolähteiksi, etenkin yksityiskohtaisemman tiedon osalta. Oma tietoperusta aiheeseen työn alussa sisälsi vain joitain perusperiaatteita, joten teoriaan piti paneutua hieman tavallista enemmän. Opinnäytetyön tavoitteena oli myös tarkastella hankittavien koneiden takaisinmaksuaikaa suhteessa alihankintakustannuksiin, koska se oli projektin alkuun panija.

## 1.1 Työn tavoitteet ja rajaukset

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä periaateselvitys tarvittavista työkaluista ja menetelmistä kohteena olevien ohutlevykappaleiden valmistuksen aloittamista varten. Myös valmistuksessa tarvittavien koneiden ja laitteiden valinta kuului työn sisältöön. Työkalujen tarkempi detaljisuunnittelu rajattiin myöhemmin työstä pois, niiden valmistuksesta vastaavalle yritykselle. Työssä tarkasteltiin myös koneen elinkaarikustannuksia ja takaisinmaksuaikaa suhteessa alihankintakustannuksiin, jotka käynnistivät projektin. Valituille koneille ja laitteille oli tavoitteena tehdä myös alustava kunnossapitosuunnitelma ja etsiä kriittisimmät huoltokohteet.



## 1.2 Toimeksiantajan esittely

Toimeksiantajana opinnäytetyölle toimi Elomatic Paper & Mechanical Oy, joka kuuluu Elomatic Oy -konserniin.

Elomatic:n toiminta keskittyy erilaisiin suunnittelutehtäviin ja yrityksen on perustanut Ari Elo vuonna 1970 (Meidän tarinamme.). Elomatic on konserni, joka on jaoteltu yrityksiin, niiden toimintojen mukaan. Toimintaan kuuluvat suunnittelu, tekninen konsultointi ja projektinhallinta prosessi- ja konepajateollisuuteen. Toimintaan kuuluvat aloihin liittyvien koneiden, laitteiden, rakenteiden ja järjestelmien suunnittelu, asennusvalvonta ja käyttöönotto, sekä näihin liittyvä elinkaaren aikainen ylläpito ja ohjelmistokehitys. (Kauppalehti 2015.)

Elomatic Paper & Mechanical Oy:n toimialaan kuuluvat koneenrakennus-, tehdas-, sähkö-, automaatio-, tuotekehitys- sekä LVI-suunnittelu. Nimensä mukaan myös paperikonesuunnittelu ja -kehitystyö kuuluvat toimenkuvaan. (Kauppalehti 2015.)

Elomatic on kasvanut tasaisesti ja on arvostettu suunnittelu- ja konsultointikumppani teollisuuden kehitys- ja parannusprojekteissa. Nykyään toimipaikkoja on Suomen lisäksi Puolassa, Hollannissa, Intiassa, Kiinassa, Serbiassa, Venäjällä, Italiassa ja Yhdysvalloissa Arabiemiirikunnissa. Erikoisosaamista löytyykin monipuolisesti eri teollisuuden aloilta, bioteollisuudesta öljyteollisuuteen ja kaikkea siltä väliltä. (Elomatic lyhyesti)

Vuonna 2016 Elomatic -konsernin liikevaihto kasvoi historiansa suurimmaksi ollen 55 miljoonaa euroa. Henkilöstömäärä oli lähes 800 työntekijää ja määrän odotetaan nousevan 2017 lopulla yli 800: n. Jyväskylän toimipisteessä työskentelee noin 200 henkilöä. (Elomatic, 2017.)

Elomaticin missiona on teknisen huippuosaamisen kehittäminen asiakkaan hyödyksi. Tehtävänä on asiakkaiden kilpailukyvyn parantaminen. Visiona on olla kansainvälisesti tunnettu ja asiakkaiden korkealle arvostama tekniikan huippuosaaja. (Elomatic lyhyesti)

## 2 Ohutlevytuotteiden valmistus

Ohutlevystä valmistetaan paljon erilaisia tuotteita erilaisiin kohteisiin. Yleisesti ohutlevytuotteista puhuttaessa ainevahvuudet ovat alle 3 mm. Ohutlevytuotteiden valmistuksessa työvaiheita ovat esimerkiksi erilaiset leikkaukset, lävistykset, taivutukset ja venytykset. Leikkausmenetelmät voidaan jakaa kahteen kategoriaan, mekaanisiin ja termisiin. Mekaanisiin leikkausmenetelmiin kuuluvat esimerkiksi lävistys ja suuntaisleikkaus ja termisiin menetelmiin laser- ja polttoleikkaus.

Termisillä leikkausmenetelmillä voidaan tehdä monimutkaisia ja kaarevia muotoja ja mekaaniset menetelmät soveltuvat paremmin yksinkertaisiin muotoihin. Mekaanisia leikkausmenetelmiä käytetään edelleen paljon niiden nopeuden ja pienempien kustannusten vuoksi. (Matilainen, Parviainen, Havas, Hiitelmä & Hultin 2011, 142)

Ohutlevytuotteita valmistetaan paljon levytyökeskuksilla, jotka ovat joustavia tuotteiden ja valmistusmäärien suhteen. Suuria tuotantomääriä vaativia kappaleita valmistetaan puristimien ja leikkaustyökalujen avulla, joihin tämän työn sisältö painottuu.

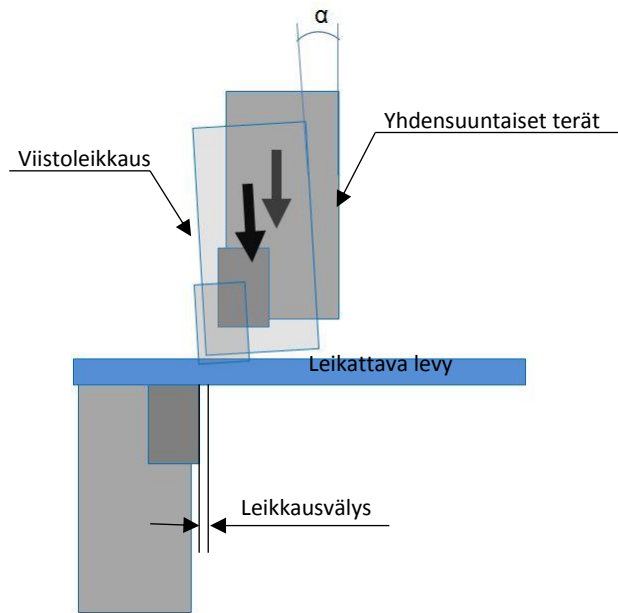
### 2.1 Valmistusmenetelmät

Ohutlevytuotteita valmistetaan monenlaisilla menetelmillä ja koneilla, joista yleisimpiä ovat ohutlevytyökeskukset ja jonotyökalut. Jonotyökalut soveltuvat hyvin massa-tuotantoon ja työn kohteena olevia kappaleita tullaan valmistamaan suuria määriä. Menetelmiä joilla aihiota jalostetaan kohti haluttua muotoa, on esitetty tarkemmin seuraavissa luvuissa. Työn kohteena olevan kappaleen valmistus edellyttää leikkauksia, taivutuksia ja erityistä muotoon puristamista lopullisen muodon saavuttamiseksi.

#### 2.1.1 Mekaaninen leikkaaminen

Suuntaisleikkaus on yleinen mekaaninen leikkaustapa, jolloin levystä leikataan liuskoja tai muita suorareunaisia kappaleita. Yleensä suuntaisleikkaus suoritetaan yhden-suuntaisena leikkauksena, jossa ylä- ja alaterät ovat samansuuntaiset, tai viistoleikkauksena, jolloin esimerkiksi yläterää on käännetty alaterään nähden. Viistoleikkauksessa terien kestoikä on pidempi, kun terät ja leikattava materiaali eivät hioudu toisi-

aan vasten niin voimakkaasti. Myös tarvittava leikkausvoima pienenee. Kuviossa 1 on havainnollistettu suuntaisleikkauksen periaate sekä viisto- ja yhdensuuntaisleikkauksen ero. Kulma  $\alpha$ , eli viistokulma on yleensä noin  $2^\circ$  ja se vaikuttaa leikkausvoimien ja terien kestoiän lisäksi myös leikkauspinnan suoruuteen (Matilainen ym. 2011, 171).

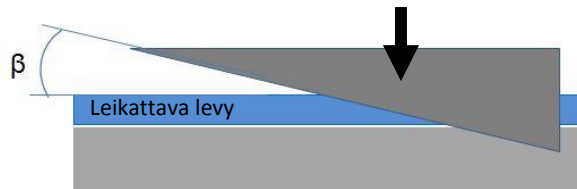


**Kuvio 1. Suuntaisleikkaus**

Myös suuntaisleikkauksessa leikkausvälyksellä on suuri merkitys. Liian pieni välys lyhentää terien käyttöikää merkittävästi ja suuri välys aiheuttaa leikattaviin kappaleisiin ei-toivottuja muodonmuutoksia, kuten kiertymistä, tasokaareutumista ja taipumista. Sopiva leikkausväli onkin usein suurin mahdollinen välys, jolla saavutetaan leikkauspinnalle asetetut laatuvaatimukset. Suuntaisleikkaus kuuluu enemmän yleislevytystekniikkaan, mutta periaatetta voidaan soveltaa myös jonotyökaluissa, jolloin leikkausvoima saadaan jaettua pidemmälle iskunpituuden matkalle.

Kuten aiemmin todettiin, leikkausvoimiin vaikuttavat terien leikkausvälykset ja leikkauskulma. Materiaalin ominaisuudet ja ainevahvuus ovat myös merkittäviä tekijöitä leikkausvoimien suuruuteen. Erityisesti suuntaisleikkauksessa leikkausvoimaa voidaan pienentää huomattavasti, kun yläterä asetetaan leikkauskulmaan  $\beta$  kuvion 2 mukaan. Tällöin leikkaus ei tapahdu kerralla, vaan se jakautuu työiskun matkalle. Tällöin myös leikkauksesta aiheutuva ääni pienenee. Lävistettäessä kappaleita sama

vaikutus saadaan aikaan muotoilemalla pistimen pää koveraksi tai viistetyksi. Viisteen suuruutena voidaan käyttää ainevahvuksilla  $< 3 \text{ mm}$  2 x levyn paksuus ja paksummilla levyn paksuutta (Tekniikan käsikirja nro.9, 166). Viistetty pistimenpää aiheuttaa kuitenkin epäkeskeisiä voimia työkaluun, joten sitä tulisi välttää.



**Kuvio 2. Leikkauskulma**

Kulma  $\beta$  on tavallisesti  $0,5 - 2^\circ$  ohuilla levyillä ja  $1,5 - 12^\circ$  paksummilla levyillä (Tekniikan käsikirja nro.9, s. 167). Kulmaa  $\beta$  kasvatettaessa leikkuuvoima pienenee, mutta samalla levyä poispäin työntävä voima kasvaa, kuviossa 2 levy pyrkii vasemmalle, pois leikkuuterän alta.

Pääleikkausvoima ( $P_1$ ) voidaan laskea kuvion 2 tapauksessa seuraavalla kaavalla:

$$P_1 = \frac{s^2}{2} \cdot \cos\beta \cdot 0,8 \cdot R_m$$

$$\text{Leikkausvoima} = \frac{\text{ainevahvuus}^2}{2} \cdot \cos\beta \cdot 0,8 \cdot \text{murtolujuus}$$

Kaavassa olevat lyhenteet on kerrottu taulukossa 1. Kaava ei kuitenkaan huomioi kuviossa 2 esitettyä leikkausvälystä, eikä toisaalta terien kulumisesta aiheutuvaa leikkausvoiman kasvua.

Lävistettäessä pyöreitä tai suorakaiteen muotoisia kappaleita voidaan leikkausvoimien ( $F$ ) laskennassa käyttää seuraavaa kaavaa:

$$F = l \cdot s \cdot f \cdot R_m$$

$$\text{Leikkausvoima} = \text{pituus} \cdot \text{ainevahvuus} \cdot \text{materiaali} \cdot \text{murtolujuus}$$

Kaavaa voidaan soveltaa niin pyöreisiin kuin suorakaiteen muotoisiin leikkauksiin, kun leikkauspituus ( $l$ ) lasketaan ensin. Tulo  $f \cdot R_m$  kertoo leikkausvastuksen suuruu-

den, joka on suuntaa antava. Materiaalitekijän arvo ( $f$ ) vaihtelee materiaalin mukaan, ollen pehmyillä metalleilla kuten alumiinilla ja kuparilla 0,5-0,6 ja teräksellä 1-1,2. Ruostumattomalla teräksellä arvo on noin 1,4. (Matilainen ym. 2011, 187).

**Taulukko 1. Kaavamerkkien selitykset, leikkausvoimat**

Suure	Selitys
$s$	Levynpaksuus
$\alpha$	Viistokulma
$\beta$	Leikkauskulma
$R_m$	Levyn murtolujuus
$f$	Materiaalikohtainen tekijä
$l$	Leikkauspituus
$F$	Pääleikkausvoima

### 2.1.2 Meistotekniikka

Meistotekniikkaan kuuluvat erilaiset levyn leikkaukset ja muovaukset erilaisilla työkaluilla, joita käytetään puristimilla. Leikkaaminen on yleisnimitys lävistämiselle, irrottamiselle, nakertamiselle sekä muille leikkaus tavoille. Irrotettua kappaletta kutsutaan leikkeeksi, joka voi olla aihio, jos sitä käytetään tuotannossa tai jättekappale, jos se on vain poistettu osa (Aaltonen, K., Aromäki, M., Ihalainen, E. & Sihvonen, P. 2007, 221).

Leikkaimia on erilaisia ja ne poikkeavat toisistaan rakenteeltaan. Avoleikkauksessa käytetään ainoastaan pistintä ja tyynyä, eikä erillistä ohjainta ole käytössä. Ohjaus tapahtuu vain puristimen omien johteiden avulla. Avoleikkausta käytetään yleensä pienemmissä kappalemäärissä ja ei suurta tarkkuutta vaativissa töissä. Suurempia kappalemääriä valmistettaessa käytetään yleensä levyjohteista leikkainta, joka on huomattavasti avoleikkainta tarkempi työkalu. Levyjohteisessa leikkaimessa irrotuslevy toimii samalla pistimen tai pistimien ohjaimena työkalujen välissä. Irrotuslevy on kiinnitettynä alatyökaluun. Kolmas malli on pylväsjohteinen työkalu, jonka ohjaus tapahtuu johdepylväillä. Johteiden ansiosta pistimet ja tyyny liikkuvat hyvin tarkasti

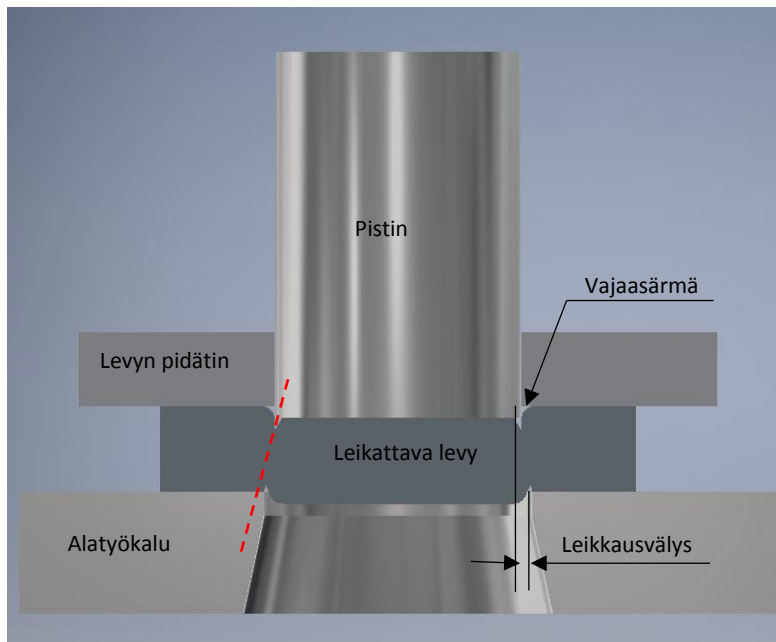
toisiinsa nähden. Puristimen toimintatarkkuus ei pääse vaikuttamaan työkalujen toimintaan ja työn laatuun. (Aaltonen ym. 2007)

Leikkaintyökalut jaetaan yksikkö-, jono- ja täysleikkaimiin. Yksikköleikkaimilla leikataan nimensä mukaan vain yksi leikkausvaihe, jonoleikkaimessa on useampia erilaisia leikkausvaiheita peräkkäin ja täysleikkaimella kappale saadaan valmistettua yhdellä työiskulla. Lisäksi on vielä olemassa monikkoleikkain, jolla voidaan valmistaa useampia kappaleita yhtä aikaa. (Aaltonen ym. 2007, 90)

Yleisimmät työvaiheet erilaisissa ohutlevytyöissä ovat erilaiset lävistyksiset ja taivutukset. Mekaanisesti kappaleita leikataan erilaisilla terillä ja vesileikkaustakin voidaan pitää mekaanisena leikkausmenetelmänä. Vaihtoehtoinen leikkausmenetelmä on niin kutsuttu terminen leikkaus, kuten esimerkiksi laser-, poltto- tai plasmaleikkaus, mutta niitä ei tässä työssä tarkastella tarkemmin. Leikattaessa levyä, työkalu painuu ensin materiaalin sisään ja muodostaen ns. vajaasärmän, eli kuviossa 1 näkyvän pyöristyksen. Leikkauksen jatkuessa materiaaliin syntyy kiillottunut alue, joka on noin 20–60 % levyn paksuudesta ja lopuksi kun materiaalin murtolujuus saavutetaan, kappale irtoaa ja alaosaan jää pieni jäyste. Jäysteen ja kiillottuneen vyöhykkeen koko riippuvat materiaalin lujuudesta, -ainevahvuudesta ja työkalujen leikkausvälyksestä. Välyksestä on kerrottu lisää luvussa 3.2. (Matilainen ym. 2011, 169–170)

Lävistäminen tapahtuu meistotekniikalla, jossa työkappaleesta irrotetaan pistimellä sitä vastaavan muotoinen kappale. Pistimellä painetaan levyä ja alla oleva tyyny estää levyn vääntymisen, sekä ylimääräiset muodonmuutokset. Lävistämällä voidaan yksinkertaisella työkalulla irrottaa monimutkaisiakin kappaleita, kun lyödään useita reikiä vierekkäin ilman välejä. Tällöin puhutaan nakertamisesta. (Matilainen ym. 2011, 179)

Esimerkki levyn lävistyksestä on havainnollistettu kuviossa 3, jossa ylätökaluna toimiva lävistin painaa aihioon reiän alatyökalun tyynyä vasten. Levynpidätin pitää levyä paikoillaan ja kiinnitetty ylätökaluun. Pidätintä painaa levyä vasten jousivoima.



**Kuvio 3. Lävistys**

Alatyökalussa oleva reikä pitää muotoilla osittain kartioksi. Reiän alkuosa mitoitetaan ylätyökalu ja levyn paksuuden määrittämän välyksen mukaan, mutta tämän jälkeen aukko muotoillaan kasvavaksi, jotta pois leikattu kappale pääsee putoamaan pois, eikä takerru kiinni työkaluun. Kuviossa näkyvä punainen katkoviiva kuvaa materiaaliin muodostuvien halkeamien samansuuntaisuutta. Jos leikkausvälys on väärän suuruisen, halkeamat muodostuvat erikohdille, eivätkä kohtaa. Tämä johtaa leikkausvoimien kasvuun ja kuluttaa työkaluja nopeammin (Matilainen ym. 2011, 185). Ylätyökalun liike painaa irrotetun kappaleen työkalun tasaisen osan läpi. Alatyökalun alle tarvitaan sopiva kouru tai kuljetin viemään hukkapaloja pois. Hukkapalojen muodosta ja koosta riippuen voi olla myös tarvetta käyttää jonkinlaista hakkuria, joka pienentää ja helpottaa jätemateriaalin pois kuljettamista.

Lävistettäessä useita toisiaan lähellä olevia reikiä, on vaarana, että levy alkaa muuttaa muotoaan. Tällöin lopputuote ei pysy halutun kaltaisena ja suuremmat muodonmuutokset voivat myös vaikeuttavat seuraavia työvaiheita. Jokainen lävistys venyttää levyn yläpintaa ja aiheuttaa toisaalta puristumista alapintaan, jolloin levy pyrkii taipumaan. Ilmiötä voidaan estää esimerkiksi tekemällä ensimmäisessä vaiheessa puolet rei'istä ja loput vasta seuraavassa vaiheessa. (Mate Precision Tooling. 2017)

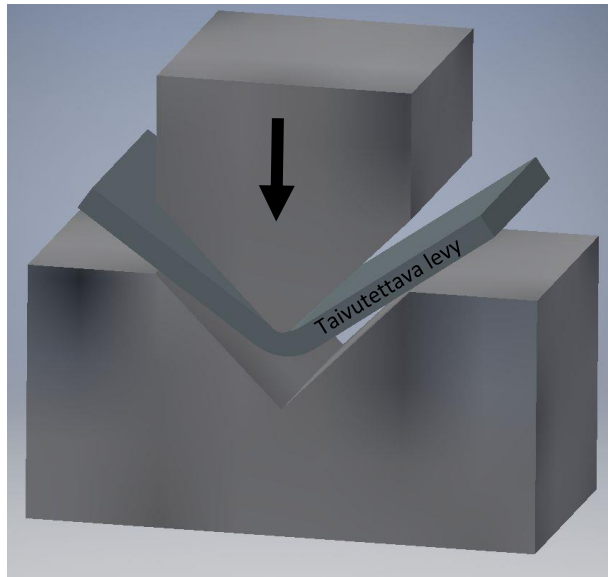
### 2.1.3 Taivuttaminen

Lähes kaikissa ohutlevytuotteissa on erilaisia taivutuksia. Taivutettaessa levyn ulkopinta joutuu venymään ja sisäpinta puristuu kasaan, eli tyssääntyy. Taivutettaessa levy pyrkii joustamaan takaisin, joten taivutuskulman täytyy olla hieman haluttua kulmaa suurempi. Tämä aiheutuu siitä, että koko levyn poikkileikkaukseen ei tule plastista muodonmuutosta, vaan osa materiaalista levyn keskiosassa jää elastisen muodonmuutoksen alueelle. Takaisin joustoon vaikuttavat levyn materiaalin myötölujuus, taivutussäde ja – kulma, työkalujen V-aukon leveys ja – kulma, sekä hieman myös taivutusnopeus ja puristusaika. Myötölujuus tarkoittaa samaa kuin metallin kyky vastustaa dislokaatioliikettä. Tarkkaa takaisin jouston arvoa on vaikea arvioida ja usein tehdäänkin ensin koetaivutus, jonka mukaan takaisinjousto mitataan ja saadaan näin tarvittavan ylitaivutuksen suuruus selville. Takaisinjoustolle on olemassa taulukoita joista palautumisen määrän saa suurin piirtein selville. Pienellä taivutussäteellä takaisinjousto on pienempää kuin suuremmilla taivutussäteillä.

Taivutuksien sisäsäteen suuruus riippuu materiaalin murtolujuudesta ja ainevahvuudesta. Levyn ulkopinta venyy taivutettaessa ja liian pienellä säteellä venyminen on suurempaa ja riski levyn murtumisesta kasvaa. Pienimpänä sisäsäteenä pidetään yleensä levyn paksuutta, jolloin ulkosäteen suuruus on noin  $1,25 \cdot \text{sisäsäde} + \text{levynpaksuus}$  ( $1,25 \cdot r_s + s$ ).

Yleisin taivutusmenetelmä on särmäys, eli vapaataivutus, joka on myös monipuolisin. Särmättäessä taivutettava levy puristetaan ala- ja ylätyökalujen välissä, kuten kuviossa 4. Särmäys voidaan jakaa kahteen menetelmään, jotka ovat vapaataivutus ja pohjaaniskutaivutus. Kuviossa 4 on esimerkki vapaataivutuksesta, jossa taivutuskulmaa säädetään työkalujen iskunpituudella. Särmättäessä levy joutuu liukumaan työkaluja vasten, jolloin se voi jättää muotoiltavaan levyyn jälkiä, joita taivutettaessa ei muodostu juuri lainkaan. Työkalujen kulmat ovat yleensä alle  $90^\circ$ , jolloin niillä voidaan hyvin monenlaisia kulmia, koska levyn muoto määräytyy työkalujen iskunpituudesta ja ainevahvuudesta. Muotoon vaikuttaa myös alatyökalun V-uran leveys, joka vaikuttaa taivutussäteen suuruuteen, kapealla uralla olevalla työkalulla saadaan pienempi säteinen taivutus.





**Kuvio 4. Särmäys**

Pohjaaniskutaivutuksessa ylätökalu painetaan alatyökäluä vasten, jolloin välissä oleva levy muotoutuu työkalujen muodon mukaan. Pohjaaniskutaivutuksella saadaan hyvin tarkka ja jäykkä muoto sekä takaisinjoustopien määrä on hyvin pieni. Menetelmä vaatii kuitenkin 3-5 kertaa enemmän voimaa kuin vapaataivutus.

Kuten leikkausten myös taivutusten vaatimat voimat voidaan likimain laskea kaavalla:

$$F = C \cdot \frac{R_m \cdot a \cdot s^2}{V}$$

$$\text{Voima} = \text{vakio} \cdot \frac{\text{murtolujuus} \cdot \text{taivutuksen pituus} \cdot \text{ainevahvuus}^2}{\text{alasärmäystökalun } V - \text{aukon leveys}}$$

Kaavan suure C on vakioarvo, jonka suuruus on 1,2–1,5.

Toinen suunnittelussa huomioon otettava laskukaava taivutuksiin liittyen on oikaistun pituuden laskeminen. Koska levy venyy taivutuskohdasta ja oikaisee taivutussäteen mukaan, oikaistun pituuden määrittämiseen tarvitaan levyn keskiosassa kulkevaa neutraaliakselia. Taivutussäteen ollessa yli 50° levynpaksuus · levyn pituus vastaa neutraaliakselin pituutta. Pienemmillä taivutussäteillä se ei kuitenkaan taivutettaessa pysy levyn keskellä vaan siirtyy

sisäreunaa kohden, johtuen sisä- ja ulkoreunojen erilaisten puristus- ja venymismuodonmuutoksien vuoksi. Oikaisupituus (L) lasketaan kaavalla:

$$L = b + b - v$$

$$\text{Oikaisupituus} = \text{sivu} + \text{sivu} - \text{korjaustekijä}$$

Suure v, eli korjaustekijä lasketaan seuraavilla kaavoilla:

$$\alpha = 0 - 90^\circ$$

$$v = \pi \cdot \left( \frac{180^\circ - \alpha}{180^\circ} \right) \cdot \left( r + \frac{s}{2} \cdot k \right) - 2 \cdot (r + s)$$

$$90^\circ < \alpha \leq 165^\circ$$

$$v = \pi \cdot \left( \frac{180^\circ - \alpha}{180^\circ} \right) \cdot \left( r + \frac{s}{2} \cdot k \right) - 2 \cdot (r + s) \cdot \tan\left(\frac{180^\circ - \alpha}{2}\right)$$

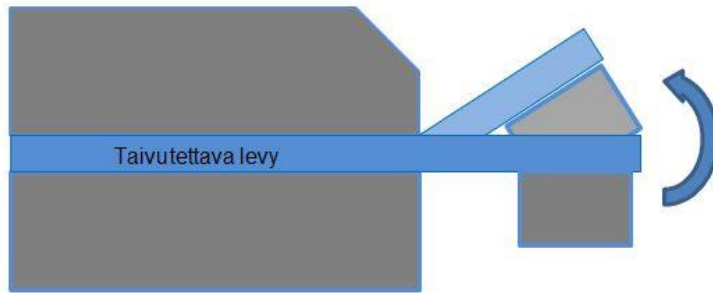
$$165^\circ < \alpha \leq 180^\circ$$

$$v = 0$$

**Taulukko 2. Kaavamerkkien selitykset, taivutukset**

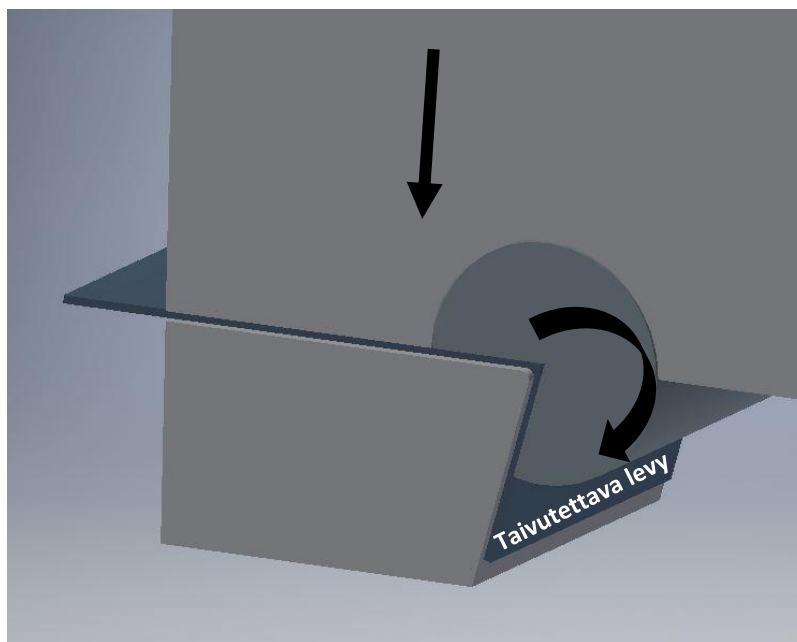
Suure	Selitys
a	Taivutuksen pituus
C	Vakio, 1,2 - 1,5
s	Levyn paksuus
V	Alasärmäystyökalun V-aukon leveys
L	Oikaisupituus
b	Sivun pituus
v	Korjaustekijä
$\alpha$	Taivutuskulma
$R_m$	Murtolujuus

Taivutettaessa, usein käytetään myös nimitystä kantattaessa, levy kiinnitetään taivutuskoneen leukojen väliin ja erillinen taivutuspalkki taivuttaa levyä liikkeessaan. Esi-merkki taivutuksesta on kuviossa 5, joka esittää taivutuskoneen periaatteen.



**Kuvio 5. Taivutus taivutuskoneella**

Taivutuksia voidaan tehdä myös kappaleen mukana kiertyvillä työkaluilla, jotka mahdollistavat yli 90° taivutukset. Tällöin voidaan ottaa huomioon levyn takaisinjousto ja saavutetaan yhdellä työiskulla tasan 90° taivutus. Niillä on mahdollista tehdä jopa 120° taivutus yhdellä työiskulla ja taivutustoleranssi on yleisesti  $\pm 0,5^\circ$  (Strack, 2013). Periaate on esitetty kuviossa 6.



**Kuvio 6. Taivutus rullataivuttimella**

Painettaessa rullataivuttimen yläosaa alaspäin, rulla kiertyy taipuvan levyn mukana. Rulla muuttaa osan puristimen alaspäin suuntautuvasta liikkeestä sivuttaiseksi, joka mahdollistaa yli 90° taivutukset. Taivutuksen jälkeen rulla palautuu jousivoimalla perusasentoonsa.

#### 2.1.4 Muut muovausmenetelmät

Ohutlevykappaleita valmistettaessa, kappaleita myös venytetään halutun muodon aikaan saamiseksi. Erilaiset venytysmuovaukset ja syvävedot ovat merkittäviä valmistusmenetelmiä, joilla saadaan ohutlevystä jäykkiä suhteessa massaansa. Työkalut ovat kuitenkin huomattavan kalliita, mutta soveltuvat sarjatuotantoon, jolloin kappalekustannukset saadaan pidettyä pieninä.

Nykyisen tietokoneohjauksen mahdollistavana on kehitetty inkrementaalinen kylmämuovausmenetelmä, jossa muovattava levy on kiinnitetty levynpitimeen ja tietokoneohjattu muovaustyökalu muovaa levyä. Liikkuessaan levyn pinnalla, aihio venyy ja taipuu kerroksittain muovausohjelman mukaisesti. Prosessi soveltuu yksittäisten kappaleiden, sekä myös pienten sarjojen valmistukseen. Työkalun liikeradat muodostetaan suoraan CAD-piirustuksen perusteella ja levyaihiota muovataan vaiheittain valmiiksi tuotteeksi. Kuvaavampi termi on kerroksittain, koska työkalun korkeutta muuttamalla ja uudella työkierrolla kappale muovautuu kuten 3D-tulostettaessa. Tekniikan vuoksi prosessi on hidas ja joka muovauskerroksesta jää erillinen jälki materiaaliin. Menetelmä mahdollistaa muuten vaikeasti valmistettavia muotoja ja lisää joustavuutta etenkin varasosien valmistukseen. (Lamminen, L., Wadman, B., Küttner, R. & Svinnig, T. 2004)

Materiaalien muovattavuutta arvioidaan rajamuovattavuuspiirroksen (Forming Limit Diagram) avulla, koska muovattavuutta ei voida suoraan ilmaista yhdellä tai kahdella parametrimella. Se kertoo materiaalin kyvystä kestää muokkaamista ja sen avulla voidaan tarkastella päävenymäyhdistelmiä, joilla saadaan aikaan onnistunut lopputulos ja estää repeämään johtava muovaus. Sen avulla voidaan helpottaa työkalujen suunnittelua, materiaalin valintaa ja ratkaista muovauksen ongelmia (Martikainen, L. 2006, 52–56). Rajamuovattavuuskäyrä saadaan testaamalla käytettävää materiaalia esimerkiksi kuppivetokokeella, josta saadaan tuloksena syvävedettävyyttä kuvaava parametri. Kupinvetokokeista yleisimpiä ovat Erichsenin ja Swiftin kokeet, joista jälkimmäinen on tunnetuin. Rajavenymien mittaus tapahtuu aihion pintaan ennen muovausta tehtyä kuviota, jonka siirtymistä venymät mitataan. Yleisimmin määrittäminen tehdään neliön mallisesta verkkokuvioista venymäanalyysilaitteiston avulla. Kuviona

käytetään ympyröitä, joiden halkaisijat ovat 3-6 mm tai neliöverkkoa, jossa neliöiden sivun pituudet ovat 2-5 mm. (Tarvainen, J. 2009)

Muovaavia ja venyttäviä valmistustekniikoita ei kuitenkaan tarkastella tässä työssä tarkemmin, koska valmistettava kappale ei vaadi kyseisten menetelmien käyttämistä.

## 2.2 Suunnittelussa huomioitavaa

Ohutlevytuotteiden valmistuksessa on jo suunnitteluvaiheessa osattava ottaa huomioon valmistustekniset rajoitteet ja mahdollisuuksien mukaan myös valmistusta helpottavat asiat. Seuraavissa luvuissa on kerrottu tärkeimmistä huomioon otettavista asioista.

### 2.2.1 Muotoilu

Leikattavat osat on pyrittävä suunnittelemaan mahdollisimman yksinkertaisiksi ja muodoiltaan sellaisiksi, että materiaalihukka olisi mahdollisimman pientä. Jos kappaleen ulkomuodolla ja – mittatarkkuudella ei ole suuria vaatimuksia, voidaan kappaleet katkaista levystä ilman väliainetta, jolloin materiaalia ei kulu hukkaan. Tämä edellyttää muotoilua, joka mahdollistaa kappaleiden tehokkaan nestauksen, eli sijoittelun aihiolevylle. Jos levyyn kuitenkin jää käyttämätöntä aluetta, voidaan siihen sijoittaa jokin muu osa, jolloin materiaali tulee hyödynnettyä tarkemmin.

Vaikeita kappaleita joissa on suurempia venytyksiä tai useaan suuntaan kaareutuvia muotoja, voidaan nykyään simuloida tietokoneohjelmistolla. Simulointi voi tuoda huomattavia säästöjä, jos sen avulla voidaan havaita mahdolliset virheet jo ennen työkalujen valmistusta. Se ei tietysti anna täydellisesti oikeassa olevaa vastausta, mutta suuremmat rypistymiset ja murtumiset sen avulla saadaan selville ja tietoa voidaan hyödyntää suunnittelussa jatkossa.

Simuloinnin laskentaparametreina voidaan käyttää valmistettavan kappaleen ja työkalujen 3D geometriatietoa, annettuja materiaalin ominaisuuksia, puristusvoimia ja kitkaa. Simulaation tuloksena saadaan tietoa materiaalin käyttäytymisestä, kuten jännitykset ja rasitukset muovaamisen aikana, mahdolliset rypistymiset ja repeämiset

ja jopa takaisin jouston määrät. Saatua tietoa voidaan käyttää työkalun kehittämiseen jo ennen sen valmistamista. (Metal Forming Simulation. N.D.)

### 2.2.2 Lävistykset

Lävistämällä voidaan saavuttaa jopa IT10 toleranssiluokka, kun käytetään alle 1 mm ainevahvuuksia. Paksummilla levyillä päästään toleranssiluokkiin IT11 ja IT12. (Tekniikan käsikirja nro.9, 154)

Lävistykseen on saatavilla valmiita standardisoituja työkaluja, joita pitäisi ensisijaisesti käyttää. Valmiita muotoja ovat pyöreät, suorakaiteen ja neliön malliset, soikeat, 6- ja 8-kulmiot, sekä kolmiot. Tuotteen valmistaminen on nopeampaa ja edullisempaa, kun käytetään standardin mukaisia työkaluja ja mahdollisuuden mukaan esimerkiksi kappaleen kaikki reiät samalla työkalulla. Lävistettäviä reikiä ei saa sijoittaa liian lähelle kappaleen reunoja eikä taivutuksia. Yleisohjeena reiän ulkoreuna ei saa olla kahta materiaalin paksuutta lähempänä taivutuksen sisäsädettä (Matilainen ym. 2011, 187).

Tarpeettomat ulkopyöritykset lisäävät työkalujen hintaa ja materiaalihukkaa, joten niitä tulisi mahdollisuuksien mukaan välttää ja tehdä kulmiin vain viisteet, jos ne katsotaan välttämättömiksi. Reikiä lävistettäessä tilanne on toisinpäin ja pyöreät muodot ovat helpompia valmistaa kuin sisäpuoliset viisteet. Tämä johtuu siitä, että erisuuntaiset sivut ovat vaikeita sovittaa tarkasti toisiinsa nähden. Pienin reiän halkaisija saa olla korkeintaan  $0,8 \times$  levyn paksuus. (Tekniikan käsikirja nro.9, 150)

Kapeat solat, rivat ja syvennykset ovat aina kalliita valmistaa ja lisäksi työkalut tulevat usein heikoiksi. Ohuita työkaluja voidaan tukea ohjaimilla, jolloin niiden mahdollinen taipuma vähenee ja kestoikä kasvaa.

### 2.2.3 Leikkaukset

Leikkaamalla saavutettavat mittatoleranssit vaihtelevat käytetyn työtavan mukaan. Avoleikkaimilla toleranssi on noin  $\pm 0,2 - 0,3$  mm, ohjatulla leikkaimella  $\pm 0,8 - 0,2$  mm ja täysleikkaimella  $\pm 0,025 - 0,05$  mm (Tekniikan käsikirja nro.9, 152). Leikkauksissa syntyvät jäysteet on myös syytä ottaa huomioon suunnittelussa tarpeen mu-

kaan. Leikkaussuunnan valinnalla voidaan jäysteen suunta muuttaa niin että siitä on vähemmän haittaa.

Jos pois leikattavan kappaleen leveys on alle kaksi kertaa materiaalin paksuus, leikkaus on suositeltavaa tehdä nakertamalla, eli usealla samansuuntaisella lävistyksellä. Liian lähellä reunaa tehtävä leikkaus saattaa erityisesti tylsyneellä työkalulla ja isohkolla leikkausvälyksellä aiheuttaa levyn taipumista ennen leikkautumista, jolloin vaarana on työkalun vaurioituminen, koska se joutuu leikkaamaan levyä osittain kulmassa, joka kasvattaa tarvittavaa leikkausvoimaa. (Tekniikan käsikirja nro.9).

Jos levyyn leikataan pidempiä viiltoja nakertamalla, olisi parempi leikata ensin ”joka toinen” osuus, jolloin lävistysten välille jää ehjä osuus ”sillaksi”. Näin toimimalla työkalu kuluu tasaisemmin kuin nakerrettaessa ja teroitustarve vähenee sekä käyttöikä kasvaa. (Mate Precision Tooling. 2017)

#### 2.2.4 Taivutukset

Käytettäessä nauhaa ahiomateriaalina, on huomioitava valssaussuunta. Valssaussuuntaan tehtyihin taivutuksiin voi seuraavissa työvaiheissa muodostua repeämiä, joten taivutukset olisi hyvä tehdä poikittain valssaussuuntaan nähden (Tekniikan käsikirja nro.9, s. 151). Lujuus voi olla noin 10 % heikompi valssaussuuntaan (Kauppi T. ym. 2013, 33).

Jos levyn reuna on muodoltaan kaareva tai muuten vaikeasti paikoitettava, saattaa tarkan taivutuksen tekeminen olla haastavaa. Tällöin voidaan käyttää niin sanottua apukanttia, jolloin kappaleeseen jätetään taivutuksen asemointia helpottamaan osa, joka leikataan vasta myöhemmin irti. Apukantti voidaan jättää kiinni kappaleeseen mikrokiinnikkeillä, eli se on leikattu irti pieniä kannaksia lukuun ottamatta, joten se voidaan irrottaa käsivoiminkin.

#### 2.2.5 Materiaalin ominaisuudet

Työn kohteena olleiden kappaleiden valmistusmateriaaliksi oli valittu haponkestävä teräs, jonka suuri mekaaninen lujuus on huomioitava suunnittelussa. Ruostumattoman teräksen korkea korroosionkesto perustuu seosaineena käytettyyn kromiin, jota tulee olla vähintään 10,5 %. Kromin reagoidessa ilman hapen kanssa teräksen pin-

taan muodostuu erittäin ohut, noin 0,00001 mm paksu ja tiivis oksidikalvo, joka estää korroosion etenemisen. Ruostumattomia teräslajeja ovat austeniittinen, austeniittisferriittinen ja ferriittinen laji, jotka eroavat toisistaan teräksen faasirakenteen osalta. Austeniittinen ruostumaton teräs on eniten käytetty laatu yli 65 % osuudella maailman rst-tuotannosta (Outokumpu. 2013.). Austeniittisen ruostumattoman teräksen koostumus sisältää maksimissaan 0,15 % hiiltä(C), min 16 % kromia(Cr) ja 6 % nikkeä(Ni). Erilaisesta faasirakenteidenvuoksi niiden jännitysvenymäkäyrät eroavat toisistaan, eli niillä on erilaiset lujuusominaisuudet. Austeniittisilla ja ruostumattomilla duplex-teräksillä takaisinjousto on myös suurempaa kuin hiiliteräksillä. Teräkset kuitenkin monet muutkin metallit lujittuvat kylmämuokattaessa. Austeniittisilla teräksillä myötölujuus voi kasvaa 200...220N/mm<sup>2</sup> - 355...500 N/mm<sup>2</sup> ilman merkittävää muutosta sitkeydessä (Hiitelä, E.). Yleensä lujittuminen myös laskee materiaalin sitkeyttä. Tämä johtuu siitä, että kun estetään dislokaatioiden, eli atomien liikettä, estetään myös muodonmuutoksien syntyminen, jolloin metalli muuttuu hauraammaksi (Meskanen, S ja Toivonen, P. N.D.).

Lujittuminen on otettava huomioon erityisesti materiaalia enemmän venytettäessä, jolloin lujittunut aines vaatii enemmän voimaa ja toisaalta repeämisen riski kasvaa.

### 3 Jonotyökalut

Puristintyökalujen historian voidaan katsoa alkavan jo 1500-luvulla, kun saksalainen lukkoseppä alkoi valmistaa saranoita kahden varta vasten valmistetun työkalun välissä iskemällä. JL Lewis kirjoitti 1897 ensimmäinen kirjan metallinmuokkauksesta työkalujen avulla ja siinä on kuvattu "follow-on" työkalut ja peräkkäinen leikkaus, vaikka varsinaisista jonotyökaluista siinä ei vielä puhutakaan. Menetelmä ei kuitenkaan kehittynyt nopeasti ja vielä toisen maailmansodan aikana kappaleita valmistettiin puristimilla rainasta vaihe kerrallaan ja aihiot siirrettiin käsin seuraavaan työpisteeseen. Valmistuksessa tapahtui useita tapaturmia kappaleita asetettaessa sekä poistettaessa ja kasvanut kysyntä vaati suurempaa tuotantonopeutta. Vuonna 1953 suunnitteleinsinööri Ed Stouten kumppaninsa kanssa, aloitti jonotyökalun kehittämisen näiden ongelmien ratkaisemiseksi. Hänelle tuotti vaikeuksia löytää yritys, joka uskoi idean toimimiseen ja oli valmis aloittamaan työkalujen valmistuksen. Stouten oli tehnyt



paperisen lay-out mallin, jolla hän havainnollisti menetelmän toimintaa ja löysi lopulta yhteistyökumppanin, joka aloitti valmistuksen, sillä ehdolla, että Stouten maksaa työkalut, jos ne eivät toimikaan. Työkalut kuitenkin toimivat juuri kuin ne oli suunniteltu ja nopeasti monet muutkin yritykset kiinnostuivat menetelmän soveltamisesta omiin valmistusprosesseihinsa. (Progressive Stamping Dies – A Brief History, 2016)

Jonotyökaluilla tehdään ohutlevytuotteita, kun kappaleen muodot vaativat useampia työvaiheita ja kappaleita valmistetaan massatuotantona. Valmistus toimii automaattien ohjaamana, eikä työntekijöitä useinkaan tarvita muuta kuin valvomaan koneiden toimintaa. Jonotyökalujen käyttö soveltuu erityisen hyvin massatuotantoon, koska tahtiaika, eli kuinka nopeasti tuotteita valmistuu, saadaan hyvinkin lyhyeksi. Iskunopeus onkin yleisesti alle sekunnin luokkaa, jolloin kappaleita voidaan valmistaa yli 3600kpl tunnissa. Jonotyökalut ovat yleensä aina juuri tiettyjen tuotteiden valmistamiseksi varten tehtyjä ja arvokkaita, joten pienien sarjojen valmistamista varten niiden teettäminen ei ole välttämättä kannattavaa.

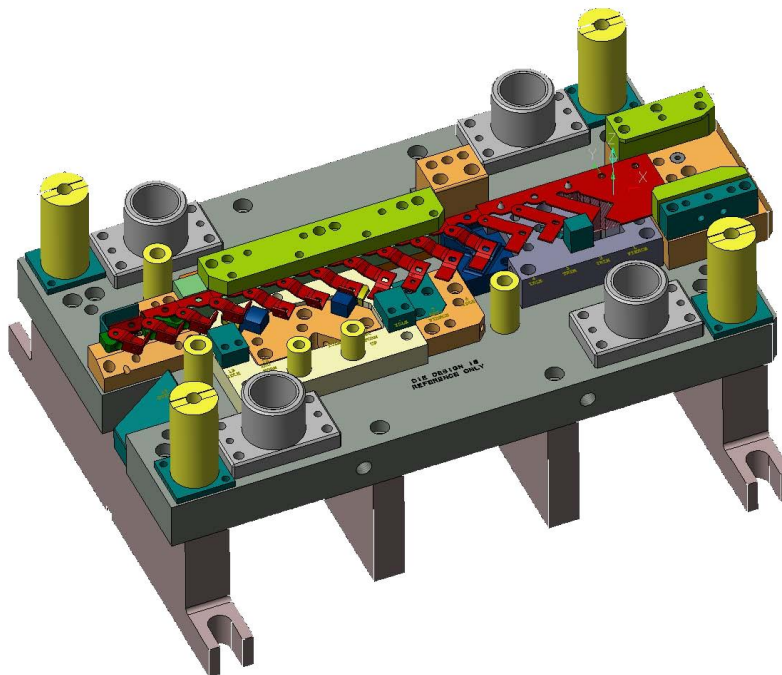
Aihiona käytettävä metalliraina kulkee työvaiheesta toiseen kohti valmistalopputuotetta. Koneen käydessä, aihiorainassa on näin ollen nähtävissä jokainen työvaihe järjestyksessä ensimmäisestä viimeiseen. Työkaluja käytetään esimerkiksi epäkesko- tai hydraulipuristimella, joka painaa jonotyökaluilla rainaan eri työvaiheiden vaatimat reiät ja taitokset vaihe kerrallaan. Viimeisen jalostavan työvaiheen jälkeen kappale irroitetaan rainasta ja se siirretään eteenpäin. Irroituksen jälkeinen siirto työkalujen välistä pois voidaan tehdä paineilmalla puhaltamalla, painovoiman avulla tai mekaanisella siirtäjällä. Rainaa siirretään työiskujen välissä eteenpäin pihtisyöttölaitteella, jonka iskunpituus säädetään työvaiheiden vaatimusten mukaiseksi. Pihtisyöttölaitteesta on kerrottu enemmän luvussa 4.3.

### 3.1 Työkalun rakenne

Jonotyökalussa on erilaisia meisto-, rei-itys ja taivutustyökaluja jonossa eri työvaiheiden mukaan. Työkalun osat jaetaan kolmeen luokkaan, jotka ovat tekniset-, konstruktiiviset- ja työliikkeen suunnan muuttamiseen tarvittavat osat. Teknisiin osiin luuluvat aktiivisesti työskentelevät osat, kuten pistimet ja tyyny, asennoivat osat, kuten hakutapit, johteet ja vasteet, sekä työstön hallintaan liittyvät osat, kuten

irroittimet, työntimet ja ulosheittäjät. Konstruktiivisia osia ovat kiinnittävät ja tukevat osat, kuten istukka- ja kiinnityslevyt, ohjaavat johdepylväät sekä liittävät osat, kuten ruuvit ja sokat. Konstruktiivisia osat ovat välttämättömiä työkalun toiminnan kannalta, mutta eivät suoraan osallistu valmistettavan kappaleen työstämiseen. Koska puristimen liike on vain yhteen suuntaan, mutta jotkin kappaleet saattavat vaatia myös muihin suuntiin tapahtuvaa työliikettä, käytetään suunnan muuttamiseen erilaia kiiloilla ja vivuilla toimivia osia. Niiden avulla voidaan esimerkiksi tehdä kappaleeseen sivusta reikä, jos jokin toiminnallinen mitta vaatii sen tekemistä vasta viimeisenä vaiheena.

Kappaleen muotoilussa on otettava huomioon valmistusmenetelmä. Jonotyökaluja käytettäessä raina on paikoitettava työvaiheisiin nähden, jonka vuoksi siinä on oltava samalla jaolla kohdistusreiät. Kohdistusreikinä voidaan käyttää kappaleen omia reikiä tai sitten on lisättävä uusi reikä paikkaan joka ei vaikuta valmistettavan kappaleen toimintaa. Kolmantena vaihtoehtona kohdistusreiät voivat olla ohjauskaistaleessa, kuten kuviossa 7 voidaan havaita punaisen rainan oikeassa reunassa. Siinä kohdistusreiät on tehty ensimmäisenä vaiheena.



**Kuvio 7. Jonotyökalut (Keywordsuggest – kuvagalleria)**

Kuviossa 7 nähdään keltaiset pystyjohteet kulmissa, jotka kohdistavat ala- ja ylätyökalut toisiinsa. Ylätyökalua ei ole esitetty kuviossa. Yleisesti käytetään kuulajohteita, jotka toimivat kuten vierintälaakerit. Johteita käytettäessä koneen välykset eivät pääse vaikuttamaan työn laatuun, eivätkä aiheuta valmistusvirheitä. Lisäksi tarkasti mitoitetuissa työkaluissa liiallinen välys saattaa aiheuttaa kalliita vahinkoja tai pahimmillaan jopa koko työkalun tuhoutumisen.

Kuviossa on vihreällä esitetty asennoivia osia, kuten rainaa ohjaavat johteet ja vasteet. Aihiona käytettävä punaisella esitetty metalliraina kulkee kuvion 7 työkalussa oikealta vasemmalle ja työvaiheita siinä on 15. Ensimmäisinä työvaiheina ovat erilaiset leikkaukset ja rei'itykset. Esimerkkikuvan viidennessä vaiheessa alkavat taivutukset ja viimeisenä vaiheena on kappaleen, esimerkissä johtoliittimen, irrotus rainasta. Irrotuksen jälkeen valmis tuote pudotetaan pakkaukseen tai siirretään erilaisilla kuljettimilla eteenpäin pakattavaksi. Kappaleen mallista riippuen voidaan tarvita erillinen liike joka poistaa sen työkalujen välistä. Pienien kappaleiden kohdalla voidaan käyttää myös paineilmasäystä.

### 3.2 Työkalujen mitoitus

Työkalujen mitoitukseen eniten vaikuttava asia kappaleen muotojen jälkeen on muokattavan levyn ainevahvuus. Optimaalinen välys ylä- ja alatyökalun välillä on yleensä 10 – 25 % käytettävän levyn ainevahvuudesta. Työkalujen välyksellä on suuri merkitys työkalujen kestoikään, tuotteen laatuun ja ulkonäköön, sekä leikkausvoiman määrään. Työkalujen kestoikää voidaan lisätä suurentamalla välystä 30 %:iin, mutta silloin kappaleen leikattujen reunojen laatu laskee.

Liian suurella välyksellä jäysteiden määrä lisääntyy ja liian pienellä välyksellä leikkauspinta jää epätasaiseksi, sekä tarvittava voima ja terien kulumisen kasvavat. Ohuilla levypaksuuksilla liian suuri välys saattaa aiheuttaa levyn taipumisen terien väliin, joka saattaa rikkoa leikkaava terät. (Katainen, H & Mäkinen, A. 1989, 36.)

Mitä suurempi leikkausvälys on, sitä syvemmälle pistin painuu levyyn ennen kuin kappale irtoaa. Leikkauspinta jää siistimmäksi sekä jäyste ja leikkauspinnan kulma pienemmiksi. Pieni välys kuitenkin kasvattaa tarvittavaa leikkausvoimaa. (Tekniikan käsikirja nro.9 1981, 155)

Taulukossa 3 on yleisimmille materiaaleille ja niiden ainevahvuuksille suositellut leikkausvälykset yhdelle puolelle, jolloin kokonaisvälys on taulukon arvo kaksinkertaisena.

**Taulukko 3. Työkalujen suositellut leikkausvälykset  
(Tekniikan käsikirja nro.9, s. 158)**

Kartio	Ainevahvuus (mm)							
Materiaali	0,3	0,4	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Alumiini	0,004	0,006	0,008	0,015	0,022	0,030	0,038	0,045
Kupari	0,004	0,006	0,008	0,015	0,022	0,030	0,038	0,045
Teräs	0,006	0,010	0,013	0,025	0,040	0,050	0,063	0,075
Ruostumaton teräs	0,009	0,014	0,018	0,035	0,050	0,070	0,880	0,100
Messinki	0,006	0,010	0,013	0,025	0,040	0,050	0,063	0,075

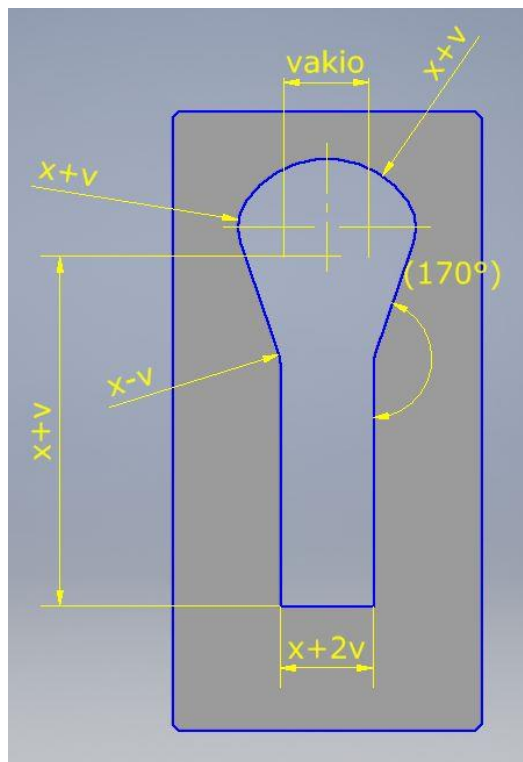
Lieriö	Ainevahvuus (mm)							
Materiaali	0,3	0,4	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Alumiini	0,007	0,012	0,015	0,030	0,045	0,060	0,075	0,090
Kupari	0,007	0,012	0,015	0,030	0,045	0,060	0,075	0,090
Teräs	0,010	0,016	0,020	0,040	0,060	0,080	0,100	0,120
Ruostumaton teräs	0,013	0,020	0,025	0,050	0,080	0,100	0,130	0,150
Messinki	0,010	0,016	0,020	0,040	0,060	0,080	0,100	0,120

Halpa	Ainevahvuus (mm)							
Materiaali	0,3	0,4	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Alumiini	0,015	0,024	0,030	0,060	0,090	0,120	0,150	0,180
Kupari	0,015	0,024	0,030	0,060	0,090	0,120	0,150	0,180
Teräs	0,020	0,030	0,040	0,080	0,120	0,160	0,200	0,240
Ruostumaton teräs	0,030	0,040	0,050	0,100	0,150	0,200	0,250	0,300
Messinki	0,020	0,030	0,040	0,080	0,120	0,160	0,200	0,240

Taulukon 3 ensimmäinen osuus on käytettäessä kartion mallisia työkaluja, keskiosa lieriömäisiä työkaluja varten ja alin osuus kun halutaan mahdollisimman halpa työkalu, eikä tuotteille ole tarkkoja laatu- tai mittavaatimuksia. Kartiovälystä käytetään, kun alatyökalun, eli tyynyn, muoto on kartiomainen (Kuvio 1). Kartio muotoillaan siten että alkuosassa, noin 1,5 – 5 mm matkalla kulma on alle 0,25° ja sen jälkeen kulma kasvaa 0,25 – 3°:een (Tekniikan käsikirja nro.9, 155). Täysleikkaimessa, jossa leikattu osa nousee ylöspäin ja tyynyn reikä on lieriömäinen, käytetään lieriöväliä (Tekniikan käsikirja nro.9, 156).

Taulukosta nähdään että pehmeämmät materiaalit vaativat yleisesti pienemmän leikkausvällyksen. Vällyksen suuruus vaihtelee kuitenkin paljon lähteistä riippuen. Kuparille suositeltu leikkausvälly voi olla 12 %, kun taas ruostumattomalle teräkselle noin 20 % (Matilainen ym. 2011, s.186). Lähteistä riippuen vällykseksi voidaan pienimmillään suositella jopa alle 10 % levyn paksuudesta (Tekniikan käsikirja nro. 9, s. 158), kun Mate -työkaluvalmistaja ilmoittaa kokonaisvällykseksi noin 15 % omissa taulukoissaan (Mate 2010.). Leikkausvällyksestä tulee helposti kompromissi kappaleen vaatimuksien ja työkalukustannuksien mukaan. Yleisesti ottaen leikkausvälly ohuemmilla levyillä on suhteessa ainevahvuuteen pienempi.

Kun työkaluja aloitetaan suunnittelemaan ja leikkausvälly on selvillä, valitaan tehdäänkö pistin halutun reiän mitoilla, vai tyyny aihion mittojen mukaan. Jos pistin tehdään haluttujen reikien mitoilla, tyynyn mitoituksessa kaikkiin reiän sisälle jääviin mittoihin lisätään leikkausvälly ja ulkopuolelle jäävistä mitoista se vähennetään (Tekniikan käsikirja nro.9 1989, 160). Mitoitus on havainnollistettu kuviossa 8 avainreikä esimerkillä, jossa "v" tarkoittaa leikkausvällystä ja "x" tavoiteltavaa mittaa.



**Kuvio 8. Alatyökalun mitoitus pistimen mukaan**

Jos mitoitetaan alatyökalun halutun reiän mukaan, toimitaan pistimenmitoituksessa päinvastoin, eli kaikki reiän sisälle jäävistä mittoista vähennetään leikkausvällys ja ulkopuolelle jääviin se lisätään.

### 3.3 Työkalujen materiaalit

Kokeellisesti on todettu, että karkaistua työkaluterästä ei voi kuormittaa enempää kuin  $1,5 \text{ kN/mm}^2$ . Leikattavan levyn paksuuden kasvaessa saatetaan tämän vuoksi joutua vähentämään työkalujen kovuutta, jolloin käyttöikäkin laskee (Tekniikan käsikirja nro.9 1989, 156). Jos työkalujen tarvittava kovuus ei ole yhtä suuri kuin saavutettava kovuus, ei materiaalia ole välttämätöntä karkaista suurimmassa karkaisulämpötilassa. Yleisimpien työkaluterästen ominaisuuksia ja kovuuksia on vertailtu taulukossa 4.

**Taulukko 4. Työkalujen materiaalien vertailu**  
(Tekniikan käsikirja nro. 9, s. 155)

Käyttö	Aine	Standardi	Kovuus		Kulumis-kesto	Karkenevuus	Sitkeys	Mitan pysyvyys	Lastattavuus
			Hrc	Hv					
Helposti hiottavat muodot	1% hiiliteräs	ISO 4957	67	8,85	80 %	20 %	30 %	20 %	80 %
Kaikki muodot	Niukkaseosteinen kutistumaton teräs	ISO 4957	65	8,24	80 %	50 %	30 %	70 %	80 %
Kaikki muodot	Kutistumaton 12%Cr-teräs	ISO 4957	66	8,53	10 %	80 %	10 %	80 %	30 %
Yksinkertaiset tyynyt & pistimet	Kovametallit	G30...G60		9,32...11,8					

Taulukosta voidaan huomata, että teräksillä joilla on hyvä kulumisen kesto, ei pärjää mittojen pysyvyydessä toisille. Jos valmistettavilla tuotteilla ei ole suuria mittatarkkuusvaatimuksia, mutta niitä valmistetaan suuria sarjoja, on työkalujen materiaaliksi kannattavaa valita eri teräslaatu, kuin tarkkuutta vaativissa työkaluissa.

Työkalujen kestoikää voidaan nostaa erityisellä pinnoitteella, joka on erittäin kovaa ja vähentää leikkauksessa syntyvää kitkaa. Pinnoitteita käytetään etenkin, jos voitelua ei voida käsiteltävän levyn vuoksi käyttää. Pinnoitteilla voidaan lisätä työkalujen kestoikää 2-10 kertaiseksi. Työkalut voidaan myös tyytetykarkaista, erityisesti jos leikat-

tavat materiaalit aiheuttavat hankaavaa kulutusta. Tällaisia materiaaleja ovat esimerkiksi ruostumaton- ja galvanoitu teräs sekä alumiini. Menetelmää ei suositella, jos työkalun mitoitus on alle 4 mm, tai leikattavat materiaalit paksumpia kuin 6 mm. (Mate Precision Tooling. 2017)

### 3.4 Työkalujen teroitus

Työkalujen reunojen teroitus kannattaa tehdä, kun niiden kulmat ovat pyöristyneet noin 0,25 mm säteelle. Tällöin teroitustarve on vielä pientä, mutta työnlaatu pysyy parempana, kuin teroitettaessa työkalut vasta niiden ollessa liian tylsiä. Työkalut kestävät myös pidempään ja leikkaavat paremmin pienemmällä voimalla. Yhdellä kerralla materiaalia tulisi poistaa vain 0,03-0,05 mm ja toistettava kunnes työkalu on jälleen terävä. Usein teroitustarve on noin 0,13-0,25 mm. Jäähdytysnestettä tulee käyttää runsaasti ja lopuksi poistaa työkaluun mahdollisesti syntynyt magneettisuus sekä voidella kevyesti korroosion estämiseksi. (Mate Precision Tooling. 2017)

## 4 Koneiden valinta

Valmistuksen aloittamiseen liittyy olennaisesti menetelmien lisäksi myös tarvittavien koneiden ja laitteiden määrittely sekä valinta. Valmistettaessa kappaleita jonotyökaluilla käytetään usein epäkeskopuristimia, joiden lisäksi tarvitaan aihiomateriaalin syöttölaitteet sekä mahdollisen jättemateriaalin ja valmiiden kappaleiden käsittelyyn vaadittavat laitteet.

### 4.1 Puristimet

Lävistävään työstöön käytetään paljon epäkeskopuristimia, mutta nykyään yhä useammin myös hydraulisesti tai servomoottorilla toimivia levytyökeskuksia. Yleisimmät käytettävät levynpaksuudet ovat 0,5-12 mm ja puristusvoima-alue 150–600 kN (Aaltonen, K. ym. 1997, 36). Puristinmalleja jaotellaan toimintojen ja rungon muodon mukaan. Runkomalleja ovat yksi-, kaksi-, ja nelipylväiset ja puristin voi olla yksi-, kaksi-, tai kolmitoiminen. Eniten käytetty puristin tyyppi leikkaus- ja taivutustöissä on yksipylväinen, eli C-runkoinen puristin, jossa pöytä on avoin kolmelta sivulta, jolloin työkalun ja aihion asetus on helppoa ja esteetöntä puskiyeen. C-runkoinen on saa-

nut nimensä ulkonäöstään. (Aaltonen, K., Aromäki, M., Ihalainen, E. & Sihvonen, P. 2007, 248.)

#### 4.1.1 Epäkeskopuristin

Mekaanisessa epäkeskopuristimessa sähkömoottorin pyörittämän vauhtipyörän energia siirretään epäkeskon avulla. Esimerkki C-runkoisesta epäkeskopuristimesta on esitetty kuviossa 9. Koska energiaa varastoidaan vauhtipyörän pyörimisliikkeeseen, voidaan käyttää pienempi tehoista sähkömoottoria, kuin esimerkiksi hydraulisessa puristimessa.

Puristimen valinnassa käytettiin apuna laskennallisia leikkaus- ja taivutusvoimia. Työvaiheiden vaatimien voimien laskelmia on esitetty liitteessä yksi tarkemmin ja käytettyjä laskukaavoja luvussa 2. Voimien suuruuksia laskettaessa käytettiin oletuksena, että kaikki taivutukset ja leikkaukset tehtäisiin yhtä aikaa. Todellisuudessa työkalujen suunnittelulla voimia voidaan kuitenkin jakaa iskun eri vaiheisiin ja näin pienentää suurinta yksittäistä voiman tarvetta. Näin laskettaessa vältetään kuitenkin liian pienen koneen valinnalta ja myös mahdollinen jatkokäyttö muiden kappaleiden valmistamiseen on helpompaa.

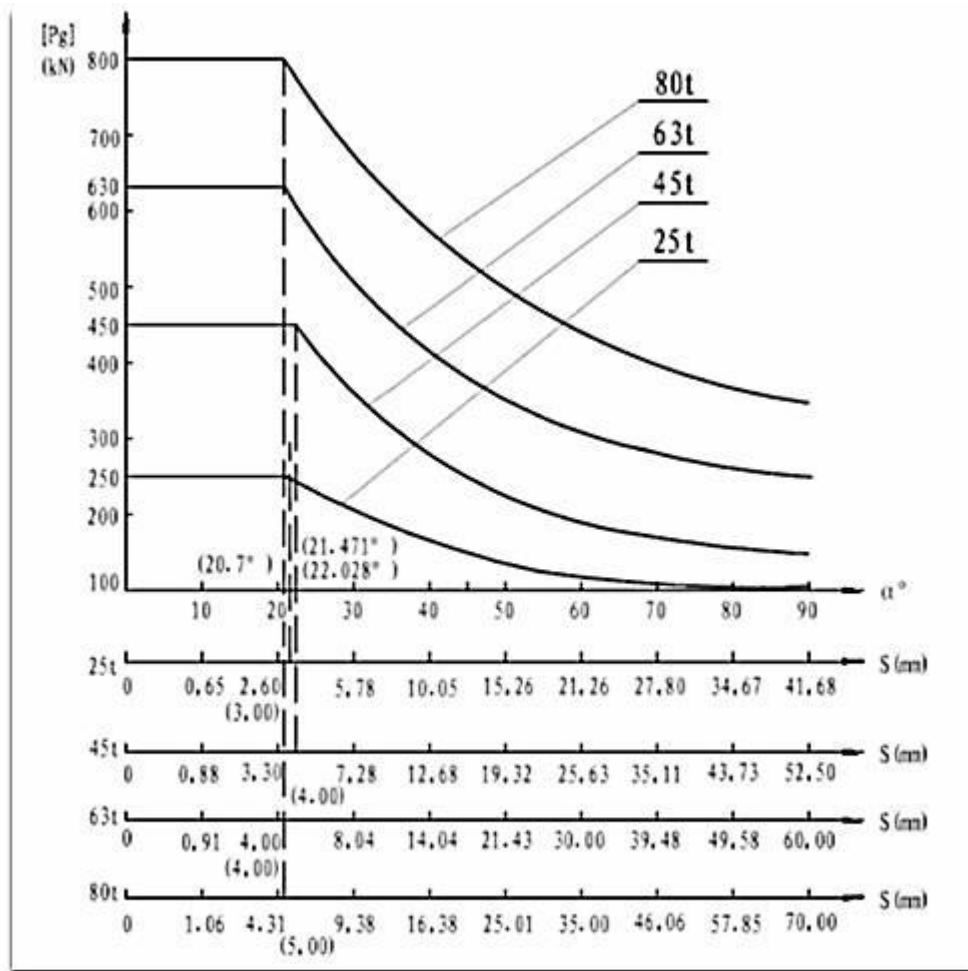


**Kuvio 9. Epäkeskopuristin (Riikone Oy)**



Koneita valittaessa on otettava huomioon, että tarvittava voima saa olla maksimissaan noin 70 % koneen nimellisvoimasta. Lisäksi epäkeskopuristimen käytettävissä oleva voima on riippuvainen kiertokangen asennosta. Epäkeskopuristimien maksimi voima saadaan yleensä vain noin 3-6 mm matkalla. Taulukossa 5 on erikokoisten puristimien voimat eri iskunpituuksilla. Siitä voidaan nähdä, että esimerkiksi 45 t puristimen maksimivoima on käytettävissä 0 – 22° kammenasteen välillä jolloin liike-matka on 4 mm. Tämän jälkeen voiman määrä alkaa laskea ja on pienimmillään, kun kampiakseli on 90° kulmassa työliikkeeseen nähden. (Malmberg, J. 2017)

**Taulukko 5. Epäkeskopuristimen valinta**



Muita koneen valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat iskunpituuden ja luistin säätömahdollisuus, sekä käytettävien puristintyökalujen mitoitus. Tarvittavan iskunpituuden määrään vaikuttaa eniten kappaleen muotoilu. Mitä enemmän työvaiheita kappaleen

valmistaminen edellyttää, kasvaa myös jonotyökalun pituus. Työvaiheiden määrän lisääntyessä, kasvaa myös vaadittavan voiman määrä, koska työkaluilla tehdään yhtä aikaa useita eri leikkauksia ja taivutuksia. Liian usean jalostavan työvaiheen tekeminen yhdellä työkalun osalla, vaikeuttaa työkalujen valmistamista ja nostaa kustannuksia, vaikka se ei oikein ajoitettuna lisäisikään vaadittavaa puristusvoimaa. Työkalut on siis hyvä pitää yksinkertaisina ja valita tarvittavat koneet sen mukaan, mitä kappaleen valmistaminen vaatii.

Puristinta valittaessa käytettiin laskennallisia leikkaus- ja taivutusvoimia. Laskettaessa oletuksena kaikkien toimintojen tapahtuvan yhtä aikaa ja maksimi voiman suuruuden ollessa aiemmin mainittu 70 % koneen kapasiteetista, saatiin tarvittavaksi puristusvoimaksi noin 13 tn. Laskelmassa ei vielä tässä vaiheessa ollut otettuna huomioon työkalujen kulumisesta aiheutuvaa leikkausvoimien kasvua. Lisäksi epäkeskopuristimen rakenteesta aiheutuvan voiman muuttuminen iskunpituuden eri vaiheissa, aiheutti sen että 25 tn nimellisvoimalla olevalle puristimelle ei olisi jäänyt kapasiteettia jäljelle kovin paljon. Lisäksi jos konetta tultaisiin myöhemmin käyttämään myös muunlaisien osien valmistamiseen, oli järkevä valita seuraava suurempi malli, joka oli tässä tapauksessa 45 tn. Laskelmat tehtiin Excel – ohjelmalla ja koontitaulukko tuloksista on esitetty liitteessä yksi.

Puristimiin on saatavilla erilaisia lisävarusteita, kuten suojia, valoverhoja, äänieristekoteloita ja voitelulaitteita. Mekaaninen puristin pitää aina kovaa ääntä, joka voi olla ongelma, jos samassa tilassa työskentelee työntekijöitä. Tällöin puristin voi olla mahdollista asentaa erillisen äänieristetyn kotelon sisään. Rainan voiteluun on saatavilla useita erilaisia ratkaisuja, jotka perustuvat sumuttamalla tai telalla tapahtuvaan voiteluun. Voitelua käytetään etenkin, kun aihiolevyä venytetään tai kun levy joutuu liukumaan työkaluja vasten muuten enemmän. Tarkasteltavan kappaleen tapauksessa voitelu ei ole välttämätöntä, mutta sillä voidaan kuitenkin jatkaa työkalujen kes-toikää.

#### 4.1.2 Hydropneumaattinen puristin

Pienempiä työkaluja käytettäessä suurelle puristimelle voivat olla vaihtoehtona hydropneumaattiset puristimet. Mallista riippuen niiden puristusvoima voi olla 20 – 320

kN (GPA Italiana puristimet. N.D). Niiden etuihin kuuluu nopea pikaisku ja sitä seuraava voimakas työisku. Hydropneumaattiset puristimet toimivat normaalilla paineilma-verkon paineella, mutta niissä suuri puristusvoima saadaan aikaan öljyllä täytetyllä toisella sylinterillä. Voiman muuntaminen perustuu pinta-alojen erisuuruuksiin. Erityisen, pneumaattisesti toimivan, pienihalkaisijaisen voimanmuuntomännän kara painuu öljytilaan, jolloin suurempi mäntä painaa kasvaneen öljynpaineen vaikutuksesta sylinterin männänvartta. Voima-iskun iskunpituus on kymmeniä millimetrejä, kun kokonaisliike voi olla satoja millimetrejä. Puristusvoiman määrää voidaan säätää ilman syöttöpainetta muuttamalla ja iskunopeus voi olla toista sataa minuutissa. (Auramo. N.D.)

Kuviossa 10 on pienehkö hydropneumaattinen puristin, jonka pöydän mitat 300 x 180 riittävät pienelle, yhdestä kahteen vaihetta sisältävälle jonotyökalulle. Suurin puristusvoima on noin 15 kN. Yksittäisiä pneumaattisia ja hydropneumaattisia puristimia on mahdollista myös laittaa sarjaan tuotantolinjan rakentamiseksi.



**Kuvio 10. Hydropneumaattinen puristin (Gpa-puristimet)**

Hydropneumaattista puristinta ei sovellettu tässä työssä, koska sen käyttäminen olisi edellyttänyt hyvin laajaa suunnitelmaa, jotta kokonaisuus olisi saatu toimivaksi. Taktiaika olisi ollut riittävä tuotannon vaatimuksiin, mutta joissain tapauksissa voidaan tarvita mekaanista puristinta, jos valmistusnopeus on ratkaisevassa asemassa.

## 4.2 Haspeli

Jonotyökaluja varten aihiona käytettävä metallinauha eli raina toimitetaan kelana tai nauhana. Kela asetetaan haspelille, josta sitä puretaan koneille valmistusta varten. Haspeli on moottoroitu teline, johon ahiokela asetetaan ja josta sitä puretaan sähkö-, tai hydraulitoimisella moottorilla. Kela voi olla vaaka- tai pystyasennossa, joista jälkimmäinen on käytetympi. Moottoria ohjataan puristimen toiminnan mukaan, niin että purkunopeus on sama kuin tuotantonopeus ja niin että valmistuksen loppuminen myös pysäyttää haspelin. Haspelin valintaan vaikuttavat kelan massa ja leveys, sekä miten materiaalia on tarkoitus kelalta purkaa. Kuviossa 11 on esimerkki kevyestä haspelista, jolla syötetään kapeaa rainaa.

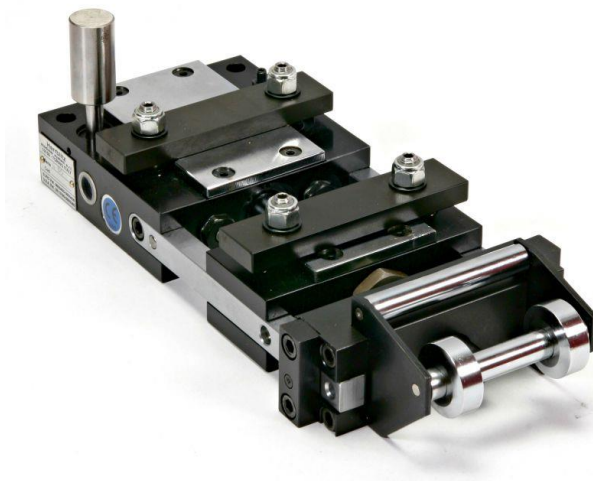


**Kuvio 11. Haspeli (PA)**

Rainan leveydestä ja paksuudesta riippuen usein tarvitaan myös oikaisulaite, joka voi olla haspelissa kiinni tai erillinen komponentti. Raina ajetaan oikaisulaitteen läpi, jossa olevat rullat pakottavat rainan kulkemaan pienen mutkan eripäin kuin kelalla ollessaan, jolloin se oikenee. Oikaistu raina on helpompi käsitellä seuraavissa vaiheissa, eivätkä jännitykset aiheuta ongelmia jonotyökaluilla tapahtuvien leikkausten aikana.

### 4.3 Pihtisyöttölaite

Jonotyökaluja käytettäessä rainaa siirretään aina työiskujen välissä eteenpäin. Tähän työvaiheeseen käytetään pihtisyöttölaitetta, jonka iskunpituus säädetään työvaiheiden vaatimusten mukaiseksi. Sen valintaan vaikuttavat haluttu iskunpituus ja ohjaustapa sekä rainan leveys. Aiemmin mainitut rainaan tehtävien ohjausreikien jako tulee olla sama työkalujen vaiheistuksen mukaan, tulee pihtisyöttölaitteen iskunpituuden olla myös saman suuruinen. Kuviossa 12 on esimerkki pihtisyöttölaitteesta.



**Kuvio 12. Pihtisyöttölaite (Herrblitz)**

Kuvion 12 vasemmassa yläreunassa näkyvä sylinterin mallinen kappale ohjaa pihtisyöttölaitteen toimintaa, esimerkkilaitte on paineilmatoiminen. Kyseisessä mallissa ohjaus voidaan ottaa suoraan vetopöydän katkaisijasta tai painimen liikkeestä. Kun pihtisyöttölaitteen nopeus on suurempi kuin käytettävän puristimen, voidaan sitä ohjata suoraan puristimen liikkeen mukaan, jolloin esimerkiksi ylätökalun olake painaa syöttölaitteen venttiiliä ja ajoittaa siten rainan siirtymisen eteenpäin.

Pihtisyöttölaite toimii siten että keskellä oleva syöttöpidike tarttuu rainaan ja siirtää sitä säädetyn iskunpituuden verran eteenpäin. Syöttöpidike liikkuu sivuilla vaaleampana näkyviä johteita pitkin. Etuosassa on rainanohjaustelat, jotka ohjaavat sekä paikoittavat rainan valmistuslinjan keskelle. Pihtisyöttölaite voidaan varustaa

laskurilla, josta saadaan esimerkiksi tuotannonohjausjärjestelmään valmistettujen kappaleiden lukumäärä, sekä koneen käyttöaste ja tahtiaika laskettua.

Hyvän pihtisyöttölaitteen vaatimuksia ovat jäykkä ja yksinkertainen rakenne sekä tarkka toiminta. Myös hiljainen ja vähän ilmaa kuluttava toiminta ovat etuja. Laite asennetaan mahdollisimman lähelle työkalua tai ohuita rainoja käsiteltäessä jopa suoraan työkaluun kiinni. (Herrblitz syöttölaitteet.)

## 5 Koneturvallisuus

Työntekijä ei saa vaarantaa itseään koneen parissa työskennellessään. Käytettävän koneen tulee olla kaikilta osa-alueiltaan turvallinen käyttää. Turvallisuus olisi otettava huomioon jo ennen kuin ensimmäistäkään prototyyppiä on edes olemassa, eli turvallisuusnäkökulma alkaa jo koneen suunnitteluvaiheessa. Koneet tulee rakentaa niin, että niitä voidaan käyttää, säätää ja huoltaa turvallisesti, ilman riskejä tapaturmavahingoista. Koneita voidaan kuitenkin harvoin suunnitella täysin vaarattomiksi, joten ne vaativat yleensä erillisiä turvakomponentteja ja ratkaisuja, joilla estetään tapaturmien syntyminen.

Koska koneet sisältävät mekaanisia liikkuvia osia ja siten monenlaisia mekaanisia vaaroja, ne johtavat valitettavan useasti tapaturmiin. Yleisimpiä tapaturmia ovat sormiin ja käsiin kohdistuneet onnettomuudet. Niitä syntyy helposti, esimerkiksi henkilön käden takertuessa koneeseen tai käden joutuessa puristuksiin, sekä erilaisten terien ja särmien aiheuttamista viilloista.

### 5.1 Määritelmät ja lainsäädäntö

Kone on toisiinsa liitettyjen osien tai komponenttien yhdistelmä. Siinä on, tai se on tarkoitettu käytettäväksi muulla kuin välittömällä ihmis- tai eläinvoimalla toimivalla voimansiirtojärjestelmällä. Siinä on myös vähintään yksi osa tai komponentti, joka liikkuu ja kokonaisuus on valmistettu jotakin erityistä käyttötarkoitusta, eli toimintoa varten. (Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta. 2008, 4§)

Yhdistettäessä useampia koneita yhdeksi kokonaisuudeksi, joita ohjataan yhdessä ja jolla on erityinen käyttötarkoitus, puhutaan koneyhdistelmästä. Koneet on yhdistetty toisiinsa ohjauksen lisäksi myös fyysisten toimintojen kautta, kuten esimerkiksi kuljettimilla tai mekaanisilla osilla. Myös koneyhdistelmällä on oltava vastuussa oleva valmistaja, joka allekirjoittaa EY-vaatimustenmukaisuusvakuutuksen ennen koneyhdistelmän toimittamista markkinoille tai käyttöönottoa. Varusteiden ja lisälaitteiden asentaminen koneeseen, jos se voidaan asentaa ilman suunnittelua, koneen- tai lisälaitteen valmistajan ohjeilla, ei vielä katsota koneyhdistelmäksi. Mutta jos lisälaitetta ei ole tarkoitettu kyseessä olevaan koneeseen ja sen asennus edellyttää suunnittelua, kokonaisuus voi olla osittain valmis kone tai koneyhdistelmä, jota koskevat samat vaatimukset kuin valmista konetta. (Sundquist, M. 2009, 4.)

Suomessa on saatettu voimaan valtioneuvoston asetuksella Konedirektiivi 2006/42/EY koneiden turvallisuudesta vuonna 2008, jota kutsutaan tavallisesti koneasetukseksi. Direktiivi koskee varsinaisten koneiden ja koneista koottavien koneyhdistelmien lisäksi myös turvakomponentteja, nostotöihin käytettäviä apuvälineitä, -ketjuja, -vöitä ja -köysiä, sekä nivelakseleita ja osittain valmiita koneita. Konedirektiivin ensimmäinen liite edellyttää, että koneelle on suoritettava turvallisuussuunnittelu, johon kuuluu riskin arviointi ja riskin pienentäminen. Turvallisuussuunnittelun tekee valmistaja – tai joissain tapauksissa maahantuoja, myyjä, tai muu koneen markkinoille saattaja. Huomioon on otettava kaikki koneeseen liittyvät terveys- ja turvallisuusriskit koneen elinkaaren kaikissa ennakoitavissa olevissa vaiheissa. (Kone-turvallisuuden standardit, 2015, 2.)

Koneturvallisuudesta on useita standardeja ja ne otellaan kolmiportaisen hierarkian mukaan A-, B- ja C-tyyppin standardeihin. A-tyyppin standardit määrittelevät koneturvallisuuden perusfilosofian ja -terminologian, B-tyyppin standardit käsittelevät suunnittelijoiden tarvitsemaa perustietoa ja C-tyyppin standardit sisältävät yksityiskohtaisia yksittäisten koneiden tai koneryhmien turvallisuusvaatimuksia, jotka on osittain toteutettu viittaamalla A- tai B-tyyppin standardeihin. (Koneturvallisuuden standardit, 2015, 3.)

Standardissa SFS-EN ISO 12100 esitetään kolmiportainen konedirektiivin edellyttämä suunnittelumetodi:

1. *Ensisijaisesti poistetaan vaaroja tai pienennetään riskejä luontaisesti turvallisilla suunnittelutoimenpiteillä.*
2. *Käytetään suojausteknisiä toimenpiteitä (turvalaitteita ja suojuksia) ja täydentäviä suojaustoimenpiteitä (häätäpysäytys, kulkutiet jne.) jäljelle jääneiden riskien poistamiseksi tai pienentämiseksi.*
3. *Annetaan käyttäjille tietoa (merkinnät, käyttöohjeet, henkilönsuojainten käyttö) niistä vaaroista ja riskeistä, joita suunnittelu- ja suojaustoimenpiteistä huolimatta jää. (SFS-EN ISO 12100)*

## 5.2 Vaatimuksenmukaisuus

Valmistajan tai tämän valtuutetun edustajan on varmennettava, että kone on asetuksien vaatimusten mukainen ja sovellettava jotain arviointimenettelyä vaatimustenmukaisuuden todentamiseksi. Vaatimustenmukaisuusmerkintä koostuu kirjaimista "CE" ja merkintä kiinnitetään koneeseen näkyvästi sekä pysyvällä tavalla. CE-merkintä on valmistajan ilmoitus siitä, että tuote tai laite täyttää sitä koskevat vaatimukset. Merkintä ei ole vapaaehtoinen, vaan se on oltava tuotteissa, jos tuotetta koskeva direktiivi niin vaatii. CE-merkintä on oltava mm. koneissa, sähkölaitteissa, leluissa, henkilönsuojaimissa ja painelaitteissa (CE-merkintä, N.D.).

Koneissa ja koneyhdistelmissä, joissa on CE-merkintä, on oltava myös tyyppikilpi. Tyyppikilvessä on oltava vähintään valmistajan tiedot, koneen sarja- tai tyyppimerkintä, yksilöidyt tiedot koneesta, sarjanumero jos koneelle on sellainen annettu, valmistusvuosi sekä muita tarpeellisia tietoja, kuten esimerkiksi pyörimisnopeus, massa ja käyttöjännite.

Vaatimustenmukaisuuden todentaminen koskee myös juuri työn kohteena ollutta koneyhdistelmää, joka koostuu puristimesta, haspelista ja syöttölaitteesta. Tämän vuoksi valmistuslinjalle tehtiin riskiarvio.

## 5.3 Riskien arviointi

Koneella ja oheislaitteille tehtiin standardin SFS-ISO/TR 14121-2 mukainen riskiarvio. Riskiarviossa etsitään kaikki mahdolliset riskitekijät, joita arvioidaan kertoimien mu-



kaan. Kertoimia ovat seurauksen vakavuus, vaaralle altistumisen taajuus, esiintymis-  
lödennäköisyys ja välttämisen mahdollisuus. Osa-alueita ovat mekaaniset vaarateki-  
jät, ergonomiasta, lämpötilasta, melusta, sähköstä, säteilystä ja värinästä aiheutuvat  
vaarat, materiaaleista ja aineista johtuvat vaarat, koneen käyttöympäristöstä aiheu-  
tavat vaarat sekä eri vaaratekijöiden yhdistelmät.

Arvion suurimmat riskit liittyvät koneen käyttöön ja rakenteesta aiheutuvaan puris-  
tumisvaaraan. Arviossa etsittiin mahdollisia vaaratilanteita koneen elinkaaren aikana,  
sekä keinoja välttää niiden seurauksia. Turvallisuustoimenpiteiden jälkeen riskit arvi-  
oitiin vielä uudelleen. Arviointikriteereinä olivat aiemmin mainitut osa-alueet ja ker-  
toimet. Arviointi tehtiin Excelillä, jossa kriteereille oli annettu painoarvot ja ehdot,  
joiden perusteella riskitaso määriteltiin. Seuraavaksi mietittiin koneelle tehtävät tur-  
vallisuustoimenpiteet, joiden jälkeen lopullinen riskitaso määriteltiin uudelleen ja  
saatiin jäännösriskin taso selville.

Suurimmiksi riskeiksi arvioitiin puristimen liikkuvien osien muodostama puristumis-  
vaara. Muita riskitekijöitä olivat mm. puristimen ja työkalujen toimintaperiaatteen  
vuoksi myös ajon aikana tapahtuva melu. Koneetta ei kuitenkaan ole tarkoitus valvoa  
koko aikaa, eikä tilassa ole vakituisia työntekijöitä, joten altistumistaajuus jää pienek-  
si. Työkalujen huolto- ja vaihtotöissä on vaarana käsien viiltäminen työkalujen terä-  
viin reunoihin, joka voidaan estää osittain ohjeistuksella ja valmistamalla työkalu si-  
ten että siinä ei ole muita teräviä särmiä kuin leikkaavat osat, joihin ei ole tarvetta  
normaalisti koskea. Myös koneen odottamaton käynnistyminen kesken huoltotyön  
tai esimerkiksi sähkökatkon jälkeen muodostavat riskitekijöitä. Odottamaton käyn-  
nistyminen estetään ohjauksellisesti, niin että koneen pysähtymisen, tapahtui se säh-  
kökatkoksen tai automatiikan ohjaamana, jälkeinen uudelleen käynnistys vaatii aina  
käynnistyskäskyn ohjainpaneelistä. Lähes kaikkien riskien syntymistä voidaan kuiten-  
kin helposti välttää käyttämällä soveltuvaa suojausta, joka estää työntekijän pääsyn  
koneen lähelle sen käydessä sekä tahattoman käynnistymisen estävällä ohjausauto-  
matiikalla. Suojaus voi olla esimerkiksi verkkoaita tuotantolinjan ympärillä, jonka kul-  
kuovi on yhdistetty ohjausautomaatiikkaan, jolloin oven avaaminen pysäyttää koneen.  
Ratkaisu vaatii kuitenkin tilaa, koska aidan ja koneen välissä on oltava riittävä etäi-  
syys kunnossapitotoimenpiteitä varten. Fyysinen aita voidaan korvata valoverholla,  
joka vaatii vähemmän tilaa, koska se voidaan asentaa hyvin lähelle konetta. Sen toi-

minta perustuu lähettimeen, jonka valonsäde kulkee vastaanottimeen, joka tunnistaa signaalin. Jos valosäde katkeaa, vastaanotin antaa ohjaukselle käskyn pysäyttää koneet. On kuitenkin otettava tapauskohtaisesti huomioon suojattava kohde ja sen pysähtymisen vaatima aika. Esimerkiksi epäkeskopuristimen suuret liikkuvat massat eivät pysähdy hetkessä, jolloin liian lähellä oleva valoverho ei kykene estämään kaikkia vaaratilanteita. Nopeasti liikkuvat koneen osat ja kohteet joihin liittyy suuria riskitekijöitä, onkin syytä suojata kiinteillä suojaelementeillä, joita ei voida irrottaa ilman työkaluja. Suojat on myös suunniteltava siten että niitä ei voida asentaa väärin. Suuria riskitekijöitä ovat mm. terävät viiltävät reunat, nopeasti liikkuvat ja pyörivät koneen osat sekä kohteet joissa on puristumis- tai kiilaantumisvaara. Suojarakenteiden mitoitusvaatimuksia käsittelee standardi SFS-EN ISO 13857, jossa on vaadittavat etäisyydet ja mitoitusarvot suoja varten.

Kelan vaihtoon sisältyy kuitenkin riskejä, joita ei aiemmin mainituilla keinoilla voida estää ja suurin jäännösriski liittyykin juuri kelanvaihtotapahtumaan. Raskas kela saat-  
taa kaatuessaan aiheuttaa henkilövahinkoja, sekä ohut materiaali pahoja viiltoja sekä pienempiä haavoja. Riskiä voidaan vähentää käyttämällä useampaa työntekijää kelan vaihdossa, sekä sopivia nostoapuvälineitä, joilla estetään raskaan kelan käsittelystä mahdollisesti aiheutuvia tukielinvammoja. Myös ohjeistus ja koulutus voivat olla riskin pienentämiseen tarkoitettuja keinoja, jolloin työntekijöille koulutetaan oikeat työskentelytavat, joilla vaaratilanteita voidaan ehkäistä. Riskiarvio on kokonaisuudessaan esitetty liitteessä kaksi.

## 5.4 Turvallinen konelinja

Turvallinen konelinja sisältää usein erilaisia suojauksia ja turvalaitteita, sekä niiden yhdistelmiä. Turvakomponentteja on sekä mekaanisia että sähköisiä. Mekaanisia komponentteja ovat mm. erilaiset aidat ja kotelorakenteet. Sähköisiin turvakomponentteihin kuuluvat hätäpysäyttimet ja passiiviset komponentit, kuten rajakytkimet ja valoverhot. Koko järjestelmän pysäyttäviä hätäkytkimiä on oltava vähintään ohjauskeskuksessa, sekä mahdollisen suoja-aidan sisällä. Myös jokaisessa erillisessä koneessa on oltava oma hätäpysäytin. (Siirilä & Kerttula. 2009.)

Koneiden energian syötön on oltava lukittavissa huoltotoimenpiteitä varten. Se voi olla sähköinen kytkin moottoreille ym. ja/tai lukittava sulkuventtiili, jos energiana käytetään paineilmaa, höyryä, öljyä tms. Yksi tavallisimmista onnettomuuden syistä on koneen odottamaton käynnistyminen, jossa työntekijä on vaara-alueen sisäpuolella ja käynnistys vaikuttaa vahingossa, esimerkiksi toisen henkilön yrittäessä käynnistää epähuomiossa väärää laitetta. Käynnistuksen hallintaelin olisikin tärkeää sijoittaa siten että siitä on näköyhteys kyseiselle koneelle. (Siirilä & Kerttula. 2009.)

## 5.5 Mekaanisten puristimien turvallisuus

Mekaanisten puristimien turvallisuusmääräyksistä on laadittu oma standardi, SFS-EN 692 + A1, joka korvaa vanhemman 29.5.2006 kumotun SFS-EN 692 standardin.

*Tässä eurooppalaisessa standardissa esitetään tekniset turvallisuusvaatimukset ja -toimenpiteet, joita metallin tai osittain metallisen aineksen kylmänä tapahtuvaan työstöön tarkoitetun kitkakytkimellä varustetun mekaanisen puristimen (jota tässä standardissa kutsutaan puristimeksi) suunnittelusta, valmistuksesta ja luovutuksesta huolehtivien henkilöiden on käytettävä. (SFS-EN 692 + A1:2010, 1.)*

Lisäksi on huomautettu, että suunnittelu sisältää kaikki koneen elinajan vaiheet. Niihin kuuluvat koneen valmistus, kuljetus, käyttöönotto, käyttö, käytöstä poisto, purku ja myös hävittäminen, siltä osin kuin on kysymys turvallisuudesta. Suunnitteluun sisältyy myös koneen aiemmin mainitun elinajan kaikkiin vaiheisiin, valmistusta lukuun ottamatta, liittyvien ohjeiden laatiminen.

Standardia sovelletaan myös kaikkiin puristimiin liittyviin lisälaitteisiin ja koneisiin, jotka on yhdistetty automaattiseen valmistuslinjaan ja se koskee myös puristimia, joiden pääkäyttötarkoitus on kylmänä tapahtuva metallin työstäminen ja joita käytetään vastaavasti muiden levymäisten materiaalien muokkaamiseen.

Koska puristimilla leikataan kappaleita irti aihioista, ovat mekaaniset suojat ainoa toimiva ratkaisu estää jättekappaleiden lentäminen väärin paikkoihin. Tämä on erityisen tärkeää, jos koneen lähellä työskentelee työntekijöitä.

## 6 Valmistuksen suunnittelu

### 6.1 Kappaleiden vaatimukset

Kappaleen muotojen vuoksi sitä ei voida valmistaa yhdellä työvaiheella, vaan se on valmistettava vaiheittain. Kappaleen valmistamiseen soveltuu jonotyökalut erittäin hyvin. Työn kohteena olevilla tuotteilla ei ole erityisen suuria mittatarkkuusvaatimuksia niiden toiminnan kannalta. Kappaleiden muotoilu on tärkeämpi ja se asettaakin suurimmat haasteet valmistusmenetelmille sekä työkalujen suunnittelulle. Kappaleiden valmistus materiaalina on haponkestävä teräs ja ainevahvuus kappaleiden koosta riippuen 0,3 – 0,4 mm. Ohut ainevahvuus ja materiaalin suuri murtolujuus tuovat työkalujen suunnitteluun ja valmistukseen haasteita. Kuten aiemmin luvussa 3.2 tarkasteltiin terille suositeltuja leikkausvälyksiä, täytyy työkalujen tolerointi olla hyvin tarkkaa, jotta saavutetaan haluttu noin 0,03 mm leikkausvälys. Ohuen materiaalin vuoksi myös työkalujen kunnosta ja terävyydestä on pidettävä huolta, eli työkalut pitäisi suunnitella mahdollisuuksien mukaan helposti teroitettaviksi.

### 6.2 Valmistuksen vaatimukset

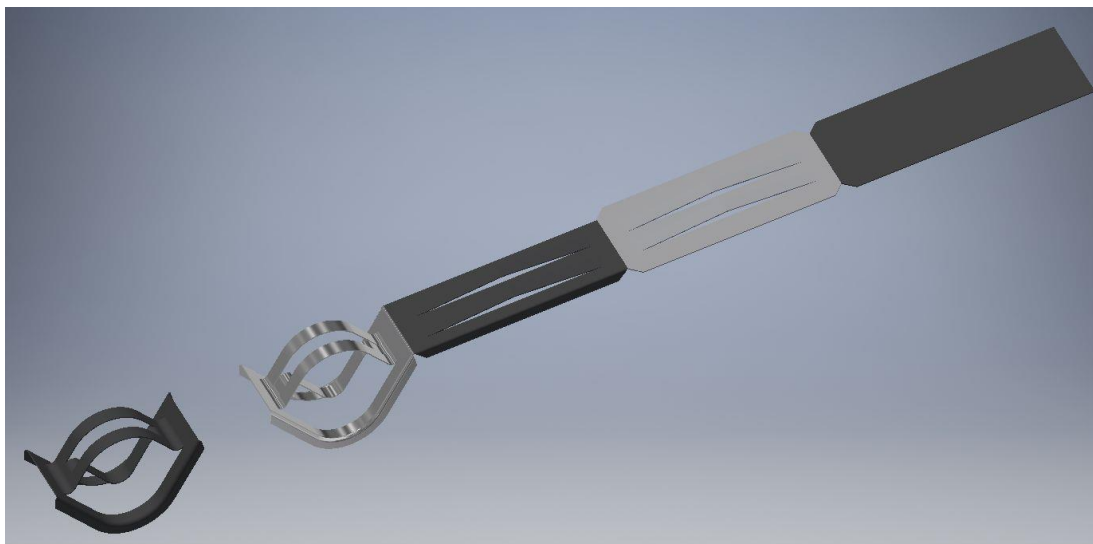
Kappaleiden valmistamisen yhtenä lähtökohtana oli itsenäinen ajo ilman työntekijän jatkuvaa valvontaa. Koneiden piti pystyä valmistamaan kappaleita kelan haspeliin asettamisen jälkeen ilman valvontaa, niin kauan kuin materiaalia riittää. Usean koneen yhteistoiminta vaatii lähes aina jonkinlaista automaatiota. Pihtisyöttölaitetta on mahdollista ohjata mekaanisesti puristimen toiminnan mukaan, joka on myös varmatoiminen ratkaisu. Haspelia voidaan myös ohjata puristimen toiminnan mukaan, kun valmistusnopeuden vaatima kelan purkunopeus on tiedossa. Haspelia voidaan ohjata taajuusmuuttajalla, jolloin voidaan säätää nopeutta. Koneen tulisi myös pysähtyä materiaalin lopputtua tai mahdollisessa häiriötilanteessa. Materiaalin loppumista voidaan valvoa esimerkiksi valokennolla, joka aktivoituu, kun raina loppuu antureiden välistä ja valosäde pääsee vastaanottimeen.

### 6.3 Työn vaiheistus

Valmistuksen suunnittelu aloitettiin tekemällä valmistettavista kappaleista 3D-mallit Inventor- suunnitteluohjelmalla. Kappaleista tehtiin yhtä monta mallia kuin oli suunniteltuja työvaiheita. Näistä ”työvaihe” – malleista luotiin kokoonpano, jossa näkyi tuotteen jalostuminen rainasta valmiiksi lopputuotteeksi. Mallien mukaan suunniteltiin työkaluja haluttujen muotojen aikaan saamisiksi. Lopulta työn laajuuden vuoksi työkalujen tarkempi suunnittelu ja toteutus päätettiin jättää työkaluvalmistajille. Malleja 3D-ohjelmassa käsitellessä, kappaleen valmistuksen haasteellisuus kävi ilmi nopeasti, erityisesti viimeisen työvaiheen toteutus ja kappaleen irrotus.

Ensimmäisenä suunnitelmana oli valmistaa kappaleita rainasta pituussuunnassa kuvion 13 mukaan. Ensimmäisenä työvaiheena on rainaan tehtävät lovet, joiden kohdilta valmiit kappaleet lopuksi katkaistaan irti. Lovista tulisi myös valmiiseen kappaleeseen sen kulmiin suunnitellut viisteet. Ennen sitä täytyisi raina leikata tarvittaessa oikeaan leveyteen, mutta materiaalihävikiltä välttyään, jos käytetään valmiiksi oikeaan leveyteen leikattua rainaa. Seuraavana vaiheena aihion pitkille sivuille tehdään 90° taivutukset ja leikataan neljä viiltoa aihioon, jotka liittyvät viimeisen työvaiheen toteuttamiseen. Kuviossa nämä vaiheet on esitetty erillisinä, mutta ne olisi ollut mahdollista tehdä myös yhdessä vaiheessa.

Lopuksi kappale puristetaan lopulliseen muotoon ennen irrotusta. Viimeinen työvaihe lyhentää kappaleen pituutta kuitenkin huomattavasti edellisestä työvaiheesta. Lisäksi viimeisen vaiheen vuoksi katkaisukohtaan muodostuisi taitos, jonka kohdalta raina olisi vaikea leikata poikki. Muotoilun vuoksi aihio onkin käytännössä irrotettava rainasta jo ennen viimeistä puristusta, joka asettaa työkalulle lisävaatimuksia, koska aihion on pysyttävä paikoillaan, kunnes työisku olisi suoritettu loppuun. Jos kappale ei pysy oikeassa asemassa työkaluun nähden, siitä ei tietenkään tule halutun muotoinen, mutta riskinä on myös koko kalliin työkalun tuhoutuminen. Kappaleen kulkua työkalujen välissä voidaan ohjata erillisillä ohjausrei'illä, joiden avulla raina tai lopuksi kappale paikoitetaan työkaluun nähden reikiin sopivien ohjaintappien avulla.



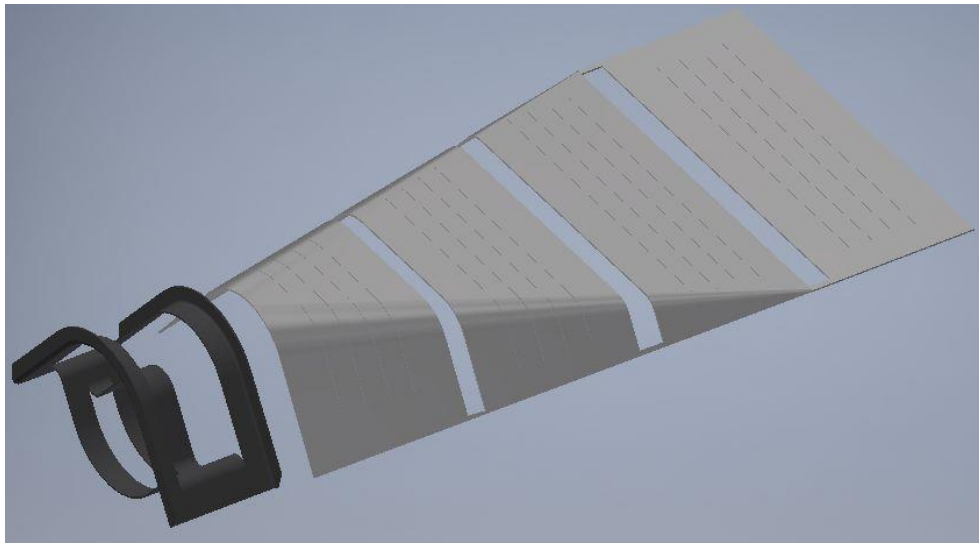
**Kuvio 13. Työn vaiheistus**

Muotoilu tekee myös kappaleen irrottamisesta ja linjalta poistamisesta haastavan, joka on viimeisen muotoilun ohella toinen vaikea vaihe valmistusprosessissa. Kappaleiden poistamiseen voidaan käyttää paineilmapulssia tai erillistä työliikettä. Erilliset työliikkeet ja liikkuvat osat työkalussa eivät ole kuitenkaan suositeltavia, koska ne nostavat kustannuksia ja lisäävät vikaantumismahdollisuuksia. Haastavien kappaleiden hallintaa varten, voidaan käyttää apukaistaletta, joka ohjaa kappaleiden kulkua työkalujen välissä, mutta tällöin ei voida käyttää oikean levyistä rainaa, koska apureuna on leikattava pois.

Kappaleita olisi ollut mahdollista valmistaa myös toisin päin kuin kuvioissa 13. Tällöin kappaleen taivutukset olisivat olleet ylöspäin, mutta luontevammin taitokset voi tehdä kuvion mukaan alaspäin, koska silloin rainan ei tarvitse liikkua korkeussuunnassa työkaluihin nähden. Mekaanista puristinta käytettäessä ylätyökalu liikkuu pystysuunnassa, joten taitoksen tekeminen ylöspäin edellyttää levyn painamista alaspäin ja tarkasteltavan kappaleen tilanteessa olisi pitänyt painaa rainan tasaista osiota.

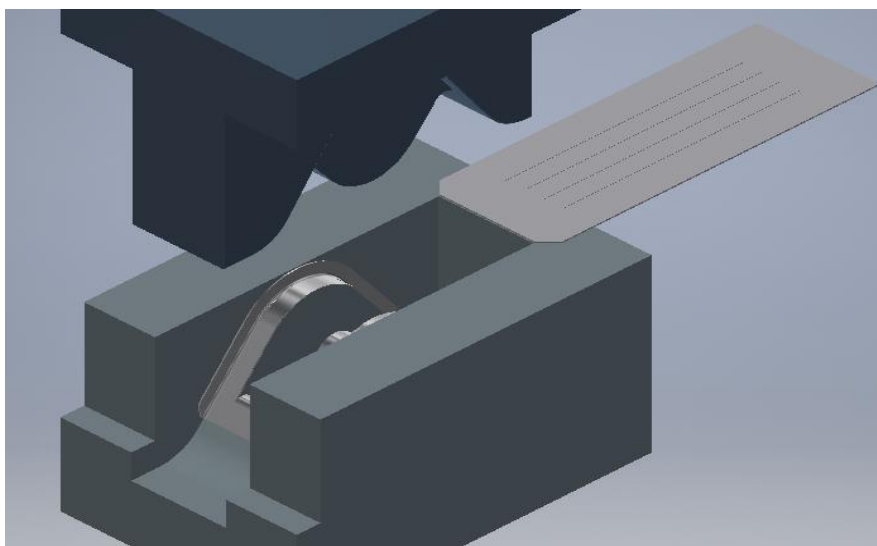
Toisena ajatuksena oli kappaleiden valmistus poikittain rainaan nähden kuvion 14 mukaisesti. Materiaalihävikkiä tulisi enemmän, koska kappale tulisi pitää päistään kiinni rainassa ennen viimeistä vaihetta ja kappaleiden välistäkin jouduttaisiin leikkaamaan kaistale pois. Aluksi ajatuksena oli poistaa sivusta leveämpi reuna lopuksi kokonaan, joka olisi ohjannut kappaleiden kulkua työkalujen välissä. Suurimpana etuna olisi ollut viimeisen työvaiheen aiheuttavan pituusmuutoksen hallitseminen

paremmin ja kappale olisi voitu irrottaa rainasta vasta lopuksi. Raina olisi voinut tulla tyhjän osuuden aikana vapaasti kohti lopullista muotoa, mutta rainaa ei olisi voinut ohjata yleisesti käytetyillä kohdistusrei'illä. Ohjaamista varten työkalussa olisi pitänyt olla reunukset joiden välissä raina kulkisi. Käyttämällä kapeampaa reunaa, materiaalihävikkiä olisi ollut vähemmän ja kappale edelleen hallittavissa, mutta ohut reuna olisi ollut mahdollista murtaa viimeisen työvaiheen aikana poikki, jolloin kappale olisi irronnut rainasta.



**Kuvio 14. Työn vaiheistus 2**

Valmistettaessa kappaleita poikittain rainaan nähden, olisi työkalussa pitänyt olla ”tyhjä” osuus jonka aikana kappaletta ei olisi jalostettu, kuten kuviossa 14 näkyvä osuus suorasta rainasta valmiiksi kappaleeksi. Edellisessä vaiheessa olisi tehty viillot, tai kaikki muu olisi tehty yhdellä iskulla samassa työvaiheessa. Kuvioissa ei ole esitetty kohdistusrei'kiä, joilla raina paikoitetaan työkaluihin nähden. Myös taitokset tulisivat näin valmistettaessa oikeinpäin valssaussuuntaan nähden.



**Kuvio 15. Viimeinen työvaihe**

Kappale olisi ehkä ollut mahdollista tehdä myös yhdessä vaiheessa, yhdellä iskulla, mutta käytännössä kyseisen työkalun valmistaminen olisi voinut olla hankalaa ja kallista, sekä teroitus myöhemmin vaikeaa. Tehtäessä viillot omana vaiheenaan kuvion 15 mukaan, ei viimeisessä vaiheessa tehtäisi leikkauksia, eikä työkalun sitä osaa näin ollen tarvitsisi teroittaa. Työkalun ollessa kaksi osainen, leikkaavat osat voitaisiin teroittaa ja tarvittaessa vaihtaa, ilman että koko työkalua olisi tarvetta uusilla kerralla. Kappaleen poistaminen kuvion 15 työkalun välistä olisi ollut lisäksi hyvin vaikeaa nopeasti ja luotettavasti.

Käytettäessä oikeaan leveyteen leikattua rainaa aihiona, säästetään materiaalia, mutta toisena etuna voidaan pitää koneen toimintaympäristön pysymistä siistimpänä, kun jätekappaleita ei tule niin paljon. Valvomattoman koneen käydessä on riskinä jätekappaleiden kertyminen väärin paikkoihin, josta voi seurata vikaantumisia ja laiterikkoja. Itse tehdyillä työkalujen 3D-malleilla olisi ollut mielenkiintoista tehdä simulaatiomallinnus, miten kappaleiden valmistus olisi voinut onnistua, mutta siihen ei ollut tarvittavaa ohjelmistoa käytettävissä.

## 6.4 Tuotantonopeus

Kappaleiden suuren menekin vuoksi, oli tarpeen selvittää haluttu valmistusnopeus, eli kappaleaika, joka koneiden tulisi täyttää. Oletuksena käytettiin että vuodessa tarvittaisiin keskimäärin kolmeen 500 000 kappaleen valmistuserään osat ja kone toimisi



itsenäisesti 24h/vrk, tahtiajaksi tuli noin 3kpl/min. Puristimen iskunopeus oli kuitenkin säädettävissä toimittajista riippuen 60 - 100 iskua minuutissa, joten haluttu valmistusnopeus oli mahdollista saavuttaa helposti. Todellisuudessa kone kuitenkin seisahtuu ajoittain, kun materiaali loppuu kelalta, koska sen vaihto oli tarkoitettu työntekijöiden tehtäväksi, eikä koneelle ollut suunniteltu jatkuvaa valvontaa. Lisäksi erikokoisten kappaleiden vaatimat työkaluvaihdot aiheuttavat tuotannon keskeytymistä ajoittain. Oletuksena 5 d/vk, 8 h/d ja 40 vk/a tahtiajaksi saatiin noin 20 kpl/min.

Vaikka tulevaisuudessa menekin odotettaisiin kasvavan viisinkertaiseksi, puristimen suurimmalla tahtiajalla, 100 iskua minuutissa, olisi valmistuskapasiteetti edelleen riittävä. Silloin toteutunut tahtiaika olisi noin kolme kertaa suurempi vaadittava minimi tahti, vaikka konetta ajettaisiin vain 8 h/vrk.

Yksi kelallinen materiaalia riittäisi koneen, 100 iskua minuutissa tahtiajalla, noin 11 tunniksi, jolloin vuodessa tarvittaisiin noin 60 päivää tarvittavaa tuotantoa varten. Näin silloin jos haspeliin asetetaan aamulla uusi kela ja konelinjan annetaan valmistaa kappaleita aiemmin mainittu 11 tuntia itsenäisesti.

## 7 Vaihtoehtojen vertailu

Valmistusmenetelmien ja lähtötietojen keräämisen jälkeen kysyttiin kone- ja työkalu-toimittajilta tarjoukset ja vertailtiin niitä toisiinsa, parhaan ratkaisun löytymiseksi.

### 7.1 Toimittajien vertailu

Kappaleita hankittiin kotimaiselta toimittajalta, jolloin lähtöhinta tuotteille oli tiedossa. Tuotteiden valmistajaa ei kuitenkaan tiedetty. Koko projektin kannattavuutta oli tarpeellista tutkia vertailemalla mahdollisia muita toimittajia, löytyisikö oman valmistuksen aloittamiselle mahdollisesti vaihtoehtoa halvemman toimittajan osalta. Vastaavia kappaleita valmistetaan useassa yrityksessä Kaukoidässä, jossa laskennallinen kustannus/m<sup>3</sup> oli noin viidennes lähtötilanteeseen nähden. Niiden muut ominaisuudet, jotka ovat riippuvaisia kappaleiden muotoilusta, olivat kuitenkin selvästi heikompia. Suuret lukumäärät lisäävät kustannuksia rahdin vuoksi, joten kustannukset

eivät olleet suoraan vertailukelpoisia. Kyseltäessä tarjousta eräältä toiselta kotimaiselta toimittajalta, vastaavien kappaleiden hankintahinta oli noin viidenneksen edullisempi. Myös Keski-Euroopassa oli useampi toimittaja ja samankaltaisille kappaleille oli useita nimiä sekä tuotemerkkejä.

Liitteessä kolme on vertailtu vastaavien kappaleiden ominaisuuksia ja hintoja tarkemmin. Vertailtavat arvot on poistettu taulukosta, mutta niiden erot on hyvin nähtävissä. Vertailun apuna käytettiin Excelin ehdollista muotoilua, joka muuttaa solujen tyyliä halutun kaavan mukaan. Liitteen kolme taulukossa suurin arvo oli määrätty vihreäksi ja pienin punaiseksi, jonka jälkeen ohjelma liuku värjää väliin osuvat arvot suhteessa toisiinsa. Kustannuksissa ehto oli päinvastainen. Tällöin taulukosta on helppo jo nopealla silmäyksellä nähdä eri arvojen suhteet toisiinsa eri toimittajien kesken. Kaikki eivät ole kuitenkaan täysin vertailukelpoisia, koska jotkin toimittajat eivät ilmoita kaikkia arvoja, sekä hinnoista erityisesti Kaukoidän toimittajat ilmoittavat vain yhden koon, hinnat alkaen, kustannuksen.

## 7.2 Koneiden vertailu

Puristimista, syöttölaitteista ja työkalujen valmistuksesta kysyttiin tarjouslaskelmat eri toimittajilta. Uusien koneiden hinnat suhteessa käytettyihin olivat odotetusti suuria ja hyväkuntoisiakin koneita oli saatavilla useammalta toimittajalta. Koneiden määrittelyyn käytettiin työkalujen vaatimia puristusvoimia ja pöydän mittavaatimuksia. Koneita olisi saanut hankittua useilta eri toimittajilta, mutta takuu ja yhteensopivuusasioiden kannalta niiden hankkiminen työkalujen kanssa samalta toimittajalta olisi perusteltua. Epäkeskopuristimien hankintakustannuksien erot olivat noin 30 % eri toimittajien kesken.

Taulukossa kuusi on esimerkkivertailtu eri toimittajista arvopisteanalyysin avulla, jossa arvostelukriteereille annetaan painarvot ja ne pisteytetään. Painoarvot on annettu prosentteina ja pisteet asteikolla 0 – 5. Kuten taulukosta nähdään, voi useampi vertailtava kohde saada yhtä monta pistettä, mutta painotetut pisteet voivat olla erilaiset, tai päinvastoin. Hyvin tehdyn Excel - vertailutaulukon avulla vertailu on helppoa, koska lähtötietoja voidaan helposti muokata ja havainnollistamiseksi käyttää ehdollista muotoilua, jolloin erot voidaan havaita myös värein. Muuttamalla eri

tekijöiden painoarvoja, voidaan samalla pisteytyksellä päätyä erilaisiin ratkaisuihin. Suurempia investointeja tehtäessä olisi hyvä kysyä eri tahoilta, kuten käyttäjiltä, kunnossapidolta ja johdolta, heidän näkemykset painoarvojen suhteista ja tehdä lopullinen päätös kokonaiskuvan perusteella.

**Taulukko 6. Arvopistetaulukko**

Arvostelukriteeriö			Toimittaja 1		
		Painoarvo	Pisteet	Ominaisuus	Painotetut
		(summa = 1)	(arvosteluasteikolta)	(arvo)	pisteet
					(painoarvo x pisteet)
Hankintakustannus		25 %	2	Riittävä	0,5
Ylläpito kustannus		25 %	3	Hyvä	0,75
Huollettavuus		15 %	4	Erittäin hyvä	0,6
Huoltotarve		20 %	3	Hyvä	0,6
Tekninen tuki		10 %	3	Hyvä	0,3
Koko		5 %	3	Hyvä	0,15
<b>Yhteensä</b>		<b>100 %</b>	<b>18</b>		<b>2,90</b>

Toimittaja 2			Toimittaja 3		
Pisteet	Ominaisuus	Painotetut	Pisteet	Ominaisuus	Painotetut
(arvosteluasteikolta)	(arvo)	pisteet	(arvosteluasteikolta)	(arvo)	pisteet
		(painoarvo x pisteet)			(painoarvo x pisteet)
2	Riittävä	0,5	3	Hyvä	0,75
3	Hyvä	0,75	2	Riittävä	0,5
3	Hyvä	0,45	3	Hyvä	0,45
3	Hyvä	0,6	3	Hyvä	0,6
4	Erittäin hyvä	0,4	4	Erittäin hyvä	0,4
3	Hyvä	0,15	3	Hyvä	0,15
<b>18</b>		<b>2,85</b>	<b>18</b>	0	<b>2,85</b>

### 7.3 Työkalujen vertailu

Kotimaisia työkaluvalmistajia, joilla olisi ollut edellytyksiä tarvittavien työkalujen suunnitteluun ja valmistamiseen löytyi neljä kappaletta. Kappaleen haastavien muotojen vuoksi, yksi työkaluvalmistaja luopui hankkeesta jo tarjouskyselyn alkuvaiheessa ja toinenkin vielä hieman myöhemmin. Lopulta vain yksi kotimainen työkaluvalmistaja teki varteenotettavan tarjouksen sopivien jonotyökalujen suunnittelusta ja niiden valmistamisesta. Vaikka opinnäytetyön alkuvaiheessa työkalunsuunnittelu oli osatavoite, siitä luovuttiin kappaleen haastavan muodon vuoksi, koska näin vastuu sen toimivuudesta saatiin siirrettyä valmistajalle, jolla on aiempaa kokemusta asiasta. Yhdeltä suurelta työkaluvalmistajalta saatiin samalla myös tarjous soveltuvista ko-

neista ja apulaitteista. Vaikka tarjous oli vain suuntaa antava arvio kustannuksista ja toimitusajasta, siitä voitiin kuitenkin päätellä osittain valmistusmenetelmä. Tarjouksessa oli maininta alustavasta rainan leveydestä ja syöttölaitteen iskunpituudesta, joiden avulla oli mahdollista päätellä että kappaleita oli suunniteltu valmistettavan poikittain rainaan nähden, kuten olin itsekkin suunnitellut.

## 7.4 Materiaalin vertailu

Materiaali ja sen paksuus toivat haasteita myös valmistuksen aloittamiseen, sillä soveltuvaa 0,3 mm materiaalia oli vaikea löytää. Muutamilla toimittajilla oli 0,5 mm levyä saatavilla, mutta sitä ohuempia olivat erikoistilaustavaraa ja minimi tilausmäärät suuria. Lisäksi vaatimuksena ollut itsenäinen toiminta, edellytti rainan käyttöä aihiona levyn sijaan. Yleisesti rainojen leveydet eurooppalaisilla toimittajilla olivat kuitenkin alkaen 1000 mm, mutta leikattuna olisi muutamilta toimittajilta saanut kapeampana. Esimerkiksi Ruotsista olisi saanut oikean paksuista rainaa 150 mm leveänä, mutta minimi tilauserä olisi ollut tällöin 20 tn. Kappaleiden koon ja materiaalin lihavuuden minimoimiseksi tarkoituksena oli käyttää valmiiksi sopivan levyistä rainaa, eikä erillistä leikkauslinjaa rainan kaventamiseksi haluttu tuotantotiloihin. Kapean rainan käyttäminen lisäksi pienensi haspelilta vaadittavia ominaisuuksia ja tilantarvetta tuotantotilassa.

Oman valmistuksen suurin kuluerä koostuu materiaalista alkuinvestointien jälkeen. Materiaalin saaminen osoittautui vaikeaksi, mutta esimerkkinä Kiinasta saadulla hinnalla kappaleiden valmistuskustannuksiksi materiaalin osalta tuli vain vähän yli viidennes aiemmasta hankintahinnasta. Kustannusero materiaalista käytetäänkö ruostumatonta AISI 304 vai haponkestävää AISI 316 terästä oli noin 20 % (Dong, J. 2017). Materiaalien vaikutusta valmistuskustannuksiin on esitetty taulukossa 7.

**Taulukko 7. Materiaalin kustannusvertailu**

Kappaleen koko	Materiaali (mm)	Tilavuus (mm <sup>3</sup> )	Tiheys (kg/m <sup>3</sup> )	Massa (kg)	Massa (g)	Hinta/kpl AISI304	Hinta/kpl AISI316	Hinta/m3 AISI304	Hinta/m3 AISI316
1	0,30	171,76	8080,00	0,00	1,39	0,00 €	0,00 €	580,59 €	728,26 €
2	0,30	293,82	8080,00	0,00	2,37	0,01 €	0,01 €		
3	0,30	408,64	8080,00	0,00	3,30	0,01 €	0,01 €	613,70 €	769,78 €
4	0,40	860,78	8080,00	0,01	6,96	0,02 €	0,02 €	391,50 €	482,99 €
1	0,50	281,69	8080,00	0,00	2,28	0,01 €	0,01 €	549,52 €	687,54 €
2	0,50	487,27	8080,00	0,00	3,94	0,01 €	0,01 €		
3	0,50	676,90	8080,00	0,01	5,47	0,01 €	0,02 €	580,85 €	726,74 €
4	0,50	1075,73	8080,00	0,01	8,69	0,02 €	0,03 €	380,81 €	476,45 €

Käytettäessä helpommin saatavaa 0,5 mm materiaalia, massan kasvaessa lisäkustannuksia syntyy noin 35 % materiaalin vuoksi, mutta samalla myös leikkausvoimat ja koneen sekä työkalujen vaatimukset muuttuvat. Lisäksi haitaksi saattaa muodostua myös kappaleiden kasvava massa. Kotimaisia toimittajia, joilta sai alle 0,5 mm määrmittaan leikattua rainaa löytyi vain yksi, toimitusajan ollessa 4-5 viikkoa. Materiaalin hintaan vaikutti hyvin suuresti tilauserän koko, koska määrmittaan leikattua rainaa tehdään vain asiakkaiden tarpeiden mukaan. Kotimaisen toimittajan materiaalikustannus oli noin puolet kalliimpi, mutta kiinasta tilattaessa rahtikustannukset pienentävät todellista hintaeroa.

## 8 Kustannuslaskelmat

Koneiden valinnan jälkeen ja valmistuskustannuksien selvittämisen jälkeen suoritettiin kannattavuuslaskelmat ja investoinnin takaisinmaksuaika. Koska kappaleiden nykyinen alihankintakustannus oli tiedossa ja materiaalin menekki sekä kustannus selvitetty, saatiin laskelman lähtötiedoiksi investoinnilla saavutettava tuotto. Alkuinvestointien kustannuksina käytettiin toimittajien tarjouksia, joita vertailtiin keskenään.

### 8.1 LCC analyysi

Elinkaarikustannuksilla, eli Life Cycle Costs (LCC) tarkoitetaan kaikkia yhteenlaskettuja kustannuksia, joita tarkasteltavalle kohteelle syntyy tai voidaan olettaa sille syntyvän sen elinkaaren aikana. Elinkaari tarkoittaa ajanjaksoa laitteen tai järjestelmän määrit-

telystä sen lopulliseen käytöstä poistoon. Erilaisia kustannuksia kohteelle syntyy mm. suunnittelusta, valmistamisesta, käytöstä, kunnossapidosta ja lopullisesta käytöstä poistamisesta. Suurin osa kustannuksista syntyy käyttöjakson aikana. Myös jatkuvasa prosessiteollisuudessa toimivan kohteen seisakkiajasta aiheutuvat epäkäytettyvyyskustannukset on syytä ottaa huomioon, koska niistä saattaa muodostua merkittävä tekijä elinkaaren kokonaiskustannuksissa.

Analyysin tarkoituksena on ohjata sellaisen kokonaisuuden hankintaan, jolla saavutetaan matalimmat kokonaiskustannukset kohteen elinkaaren aikana. Elinkaarikustannusten analysoinnilla voidaan perustella mahdollisuuksia, joita erilaisilla ratkaisuilla voidaan saavuttaa. Analyysi ei ohjaa investointia pelkästään laitteen investointikustannusten pohjalta, vaan kohteen oletetun elinkaaren kokonaiskustannusten mukaan. Hankaluutta analyysiin aiheuttavat analyysin edellyttämä tulevaisuuden arviointi, missä on muuttuvia tekijöitä. Analyysi muuttaa tekniikan ymmärtämistä vaativat esitiedot muotoon, jonka hankinnasta ja taloudesta vastaavat henkilöt pystyvät helpommin ymmärtämään. Elinkaaren eri vaiheissa tapahtuvat kustannukset muunnetaan nykyarvomenetelmää käyttäen jonkin tietyn hetken, yleensä ostohetken, raahan käyttäen diskonttokorkoa ja yleensä huomioon ottaen inflaatio. (Pursimo, J. 2015)

Valmiita LCC -laskentataulukkoja on saatavilla useita erilaisia eri tarkoituksia varten. Osassa on hyvin karkea laskentamalli, joka ei ota kantaa arvon muutokseen ajan kuluessa, mutta paremmat taulukot laskevat myös investointien nykyarvon. Nykyarvo voidaan määrittää esimerkiksi diskonttaamalla, jolloin eri ajassa olevat rahasummat ovat vertailukelpoisia keskenään. Diskontattaessa rahan arvoa muuttaa mm. säästöstä maksettava korko, lainasta maksettava korko ja inflaatio. Nykyarvo voidaan määrittää seuraavalla diskonttauskaavalla:

$$K_0 = \frac{K_t}{1 + i \cdot t}$$

$$\text{Nykyarvo} = \frac{\text{Pääoma}}{1 + \text{korkokanta} \cdot \text{tarkasteltava aika}}$$

Kaavassa  $K_t$  on pääoma,  $i$  on korkokanta ja  $t$  on korkojaksosta kulunut aika jaettuna korkojakson pituudella (Talousmatematiikka.). Käytettäessä laskelmiin Excel- taulukkoa voidaan käyttää ohjelman omia kaavoja, jolloin voidaan helposti tarkastella esimerkiksi koron muuttumisen vaikutuksia. Excel laskee sekä kustannuksien, että tuottojen nykyarvon ja investointia voidaan pitää kannattavana, jos tuottojen arvo on suurempi kuin kustannuksien. Laskentakorko tarkoittaa investoinnilta vaadittavaa tuottoa ja se kasvaa investoinnin riskin mukaan. Tuottovaatimusprosentti vaihtelee 0 - <20 %. Lakiin ja viranomais määräyksiin perustuvissa investoinneissa ei ole tuotto- vaatimuksia, mutta jos investoinnilla turvataan markkina-asemaa, käytetään 6 %, koneiden ja laitteiden uusimiseen 10 – 12 %, kustannuksien alentamiseen 12 – 15 %, tuottojen lisäämiseen 15 – 20 % ja uusien markkinoiden valtaamiseen yli 20 % (Investoinnin laskenta.). Projektin tavoitteena oli kustannuksien alentaminen, joten laskelmien korkokantana käytettiin 15 %.

Koska valmiiden laskentataulukoiden muokkaaminen on usein rajallista erilaisten suojausten vuoksi, päädyttiin tekemään oma taulukko mallikaavojen avulla. Laskelmia on esitetty liitteiden neljä ja viisi taulukossa, jossa oranssit solut ovat syötettäviä lähtötietoja ja harmaat laskevia soluja. Taulukkoon laitettiin paljon erilaisia lähtötietojen syöttösoluja, jolloin niiden arvoja muuttamalla nähtiin vaikutus helposti. Esimerkkinä taulukko laskee myös kelan massan muuttumisen vaikutuksen lisääntyneiden vaihtokertojen synnyttämien kustannuksien perusteella, sekä energian kulutuksen ja työkaluvaihtojen vaikutukset. Laskentaan otettiin mukaan myös kunnossapitokustannukset ja erillinen sarake mahdollisia muita tulevia kuluja varten. Kustannuksien ja tuottojen nykyarvon laskemiseen käytettiin Excelin omia kaavoja, jotka laskevat arvon määritetyn korkotason mukaan.

Tiedettäessä aiemmat kustannukset ja laskettaessa omia valmistuskustannuksia, voitiin laskea tuotantolinjan takaisinmaksuaika. Takaisinmaksuajasta pelkkien koneiden osalta tuli yllättävän lyhyt, ollen noin 1,5 vuotta pienimmälläkin arvioidulla menekillä ja uusilla koneilla, joten valmistuksen aloittaminen oli kannattavaa. Kuitenkin kokonaiset valmistuslinjat työkaluineen olivat moninkertaisesti kalliimpia, jolloin takaisinmaksuaika nousi, mutta menekille oli nähtävissä kuitenkin kasvua, joten todellinen takaisinmaksuaika tulisi lyhenemään lähes samaan kuin pienellä menekillä pelkkien laitehankintojen osalta. Vaikka taloudellisten lukujen arviointi etukäteen

vuosia eteenpäin on haastavaa ja yllättäviä muutoksia voi tulla, oli laskuista havaittavissa joka tapauksessa oman valmistuksen aloittamisen kannattavuus. Valmistuslinjalle arvioitiin käyttöikäksi 15 vuotta, jolloin laitteiden hankintakustannukset jakautuvat pidemmälle ajanjaksolle ja kappaleiden valmistuskustannukset näin ollen pieneksi.

## 8.2 Valmistuskustannus

LCC – laskentaa varten luodun taulukon avulla laskettiin samalla myös kappaleiden valmistuskustannukset. Laskennassa otettiin huomioon materiaalikustannus, koneiden ja laitteiden energiakustannukset, kunnossapito- ja kelan vaihtokustannukset sekä koneiden ja laitteiden takaisinmaksu. Uusi kustannus erosi eri toimittajien laitteiden kesken, mutta pääasiassa omavalmistuskustannukset olivat noin 15 – 20 % aiemmasta alihankintakustannuksesta. Kustannuksiin lisättiin myös arvioitu 6000 € viidenvuoden välein työkalujen uusimista varten. Kustannuksien laskentataulukko on esitetty liitteessä viisi, jossa on vertailtu kahden toimittajan kustannuksia.

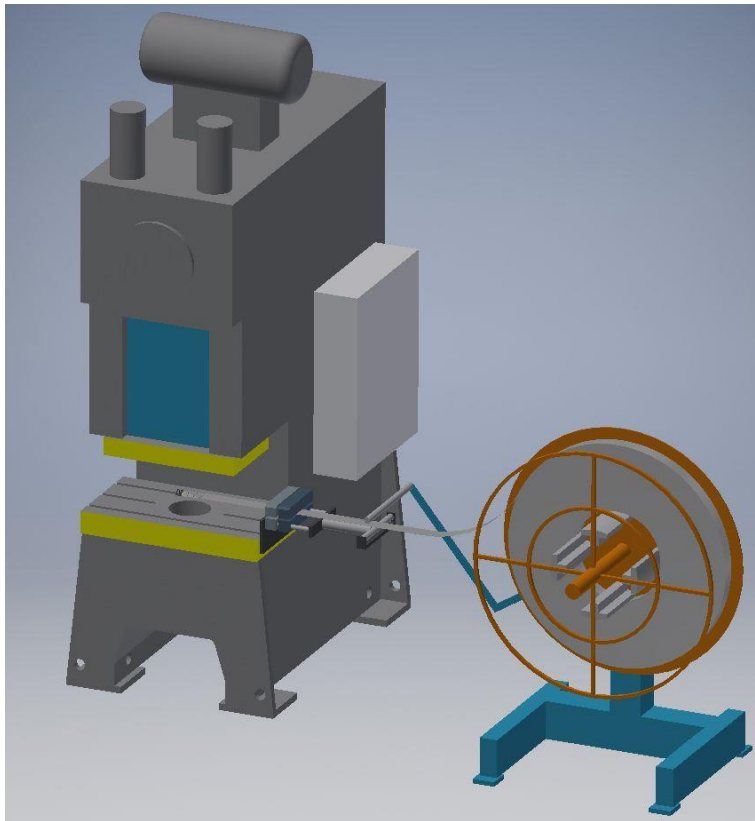
## 9 Puristinlinja

Koneiden ja laitteiden asennuksen ja tilavarauksen vuoksi, niistä tehtiin karkeat 3D-mallit, joilla saatiin tarvittavat mitoitus ja asennus mitat esitettyä. Puristin kokoonpano apulaitteineen on esitetty kuviossa 16. Kuviossa on 45 tn epäkeskopuristin ja saman toimittajan tarjoama haspeli ja pihtisyöttölaite. Haspelista nähdään sen toimintaa ohjaava varsi, joka tarkkailee kelan loppumista ja sammuttaa laitteen. Haspelin ohjauskeskukselta saadaan samalla myös sammutuspyyntö puristimelle, jonka on pysähdyttävä ennen kuin rainan pää ehtii syöttölaitteelle. Laitteista ei ollut tarpeen tehdä erityisen tarkkoja, kuin kiinnitys ja liitospintojen sekä päämittojen osalta.

Jätekappaleet pudotetaan puristimen pöydän läpi jäteastiaan, koska niitä tulee suhteellisen vähän. Jäteastia joudutaan tyhjentämään 2-3 kertaa yhden kelallisen valmistusaikana. Valmiit kappaleet pudotetaan työkalujen välistä ja kourua pitkin astiaan sekä siitä edelleen pakattaviksi.



Kuviossa ei ole esitetty vaadittavia suojauksia, joilla konelinja turvallisetaan. Puristin toimitukseen sisältyy suojaus puristimen kidan eteen, työkalujen kohdalle ja muut suojaukset voidaan toteuttaa valoverhoilla tai aidalla. Kiinteä aita linjan ympärillä on kuitenkin varmatoiminen ja edullinen suojaus, erityisesti jos linja sijoitetaan seinän viereen, jolloin aitaa ei tarvita kuin kahdelle tai kolmelle sivulle.



**Kuvio 16. Puristinlinja**

Kuviossa nähdään myös rainan loppumista valvova varsi, josta saadaan rajakytkimen kautta ohjausjärjestelmälle pysäytyspyyntö kelan loppuessa. Haspeliin asetettavan kelan massa, 250 kg, vaatii nostimen ja soveltuvan nostoapuvälineen käyttöä. Yksi kela riittää noin 12 tunnin valmistukseen 100 kpl/minuutissa tahtiajalla, joten asiakasyrityksen kanssa käydyssä loppupalaverissa heräsi kysymys useamman kelan asentamisesta kerralla haspeliin. Valitun haspelin maksimi kelapaino oli 500 kg, joten teoriassa se olisi mahdollista. Kuitenkin toisen kelan pienentyessä on suuri riski, että vieressä oleva täysi kela alkaa purkautua. Tämä voitaisiin estää asettamalla kelojen väliin ”ohjainlevy”, mutta kuitenkin on syytä käyttää aina kaikkia koneita ja laitteita niin kuin ne on suunniteltu käytettäväksi.

## 10 Kunnossapito

Kaikki koneet ja laitteet tarvitsevat huoltamista eli kunnossapitoa elinkaarensa aikana. Kunnossapito ei tarkoita itse koneen pitämistä hyvässä kunnossa, vaan sen tarkoituksena on luoda edellytykset suorittaa vaadittu toiminto hyväksyttävällä suorituskyvyllä. Kunnossapito jaetaan kahteen luokkaan, ehkäisevään ja korjaavaan kunnossapitoon. Oikein mitoitettulla ennakoivalla kunnossapidolla vähennetään ja jopa estetään häiriöt, jotka katkaisevat koneen toiminnan. Häiriökorjaus ja korjaava kunnossapito tarkoittavat samaa asiaa. Samalla kun myös tuotanto seisahtuu, aiheutuu epäkäytettävyyuskustannuksia ja tuotannonmenetyksiä.

*Kunnossapito koostuu kaikista kohteen elinajan aikaisista teknisistä, hallinnollisista ja liikkeenjohdollisista toimenpiteistä, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palautta kohteen toimintakyky sellaiseksi, että kohde pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon (SFS-EN 13306, 2001)*

### 10.1 RCM - menetelmä

Nykyään kunnossapidon suunnitteluun käytetään RCM – menetelmää, eli luotettavuuskeskeistä kunnossapitoa. Se on lyhennetty sanoista Reliability Centered Maintenance. RCM sai alkunsa 1950-luvulla Yhdysvalloissa, jossa ilmailuviraston työryhmä kehitti ennakoivaa kunnossapito-ohjelmaa lentokoneiden huoltoja varten. Aiemmin huolto-ohjelma perustui ajasta riippuvaisiin huoltotoimenpiteisiin, mutta menetelmä ei johtanut toivottuihin tuloksiin. Pian huomattiin, että ennakoivalla kunnossapidolla ei ollut suurta vaikutusta monimutkaisten laitteiden vikaantumiseen. John Moubray on todennut, että jopa 40 % suunnitellusta tai ehkäisevästä kunnossapidosta on tarpeetonta. Työryhmä aloitti ratkaisun etsimisen, tutkimalla minkälaisia vikaantumismalleja koneissa ilmeni ja löysivät kuusi erilaista vikaantumismekanismia. Niistä kolme ei ollut lainkaan aika riippuvaisia ajasta. Kehitetty RCM menetelmä perustuu suunnitelmallisuuteen siten että kunnossapito kohdennetaan vain niihin kohteisiin, joilla on suurin merkitys kohteen toiminnan kannalta. (Kunnossapito 2006, 124–125.)

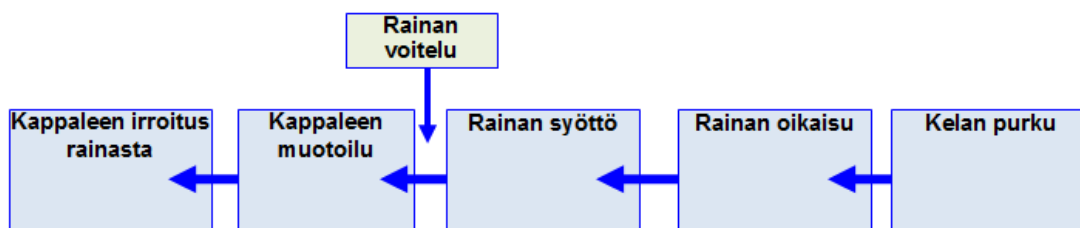
RCM menetelmiä on erilaisia, joista tunnetuimmat ovat Moubrayn ja Smithin mallit, joista molemmat ovat seitsenportaisia, mutta eroavat hieman työjärjestyksellään toisistaan. Smithin mallissa askeleet ovat kohteen valinta, rajausta, toimintojen mallinnus, toiminnallisten vikojen selvitys, vika- ja vaikutusanalyysi, päätöslogiikkakaavio ja kunnossapitotoimenpiteiden valinta (Smith & Hinchcliffe 2004, 71.).

Moubrayn mallissa sisältö on pääasiassa sama mutta asiat on jaoteltu erilailla. Askeleet ovat järjestelmän ja sen rajojen määrittäminen, toimintojen määrittäminen, toiminnallisesti merkittävimpien kohteiden tunnistaminen, vikaantumisien syiden selvitys, vikaantumisien vaikutusten ja todennäköisyyksien arviointi, päätöslogiikka ja kunnossapitotoimenpiteiden valinta. RCM:n keskeisimmät päämäärät ovat Moubrayn mukaan laitteiden priorisointi, jotta kunnossapitoresurssit kohdennetaan tärkeimpiin kohteisiin, vikaantumismekanismien syntyminen tutkimaan, jotta löydetään parhaiten soveltuvat keinot niiden ehkäisyyn. Kunnossapidon piiriin saatetaan myös passiiviset turva- ja rajalaitteet, sekä laaditaan toimintaohjeet laitteille joille ei löydy tehokkaista ehkäisevän kunnossapidon menetelmiä. (Moubray, 1997.)

## 10.2 Alustavan kunnossapitosuunnitelman laatiminen

Lisäksi on olemassa yksinkertaistettu menetelmä RCM:stä, jota sovellettiin puristinlinjan alustavan kunnossapitosuunnitelman tekemiseen. Ensimmäisenä askeleena on yleensä kohteen rajausta, jolle analyysi tehdään, mutta tässä tapauksessa kohde oli suhteellisen pieni jo valmiiksi, käsittäen haspelin, oikaisu- ja voitelulaitteen, pihtisyöttölaitteen, työkalut sekä itse puristimen.

Kohteen päätoimintona oli kappaleiden valmistus ja osatoimintoja olivat kelan purku ja oikaisu, rainan syöttö puristimeen, kappaleen muotoilu ja – leikkaus rainasta sekä rainan voitelu. Toiminnallinen rakenne on esitetty kuviossa 17.



**Kuvio 17. Toiminnallinen mallinnus**

Seuraavana vaiheena eri osille etsittiin niiden mahdolliset vikaantumistavat, niiden syyt ja seuraukset, sekä keinot estää vikaantumiset tai niiden seuraukset. Tätä vaihetta kutsutaan nimellä ”vika ja vaikutusanalyysi”. Vikaantumiset pisteytettiin ja osaluokina käytettiin vian vakavuutta ja seurausta, syyn todennäköisyyttä ja havaitsemisen todennäköisyyttä. Pisteet annettiin asteikolla 1 – 5 ja niiden tulona saatiin jokaiselle vialle riskiluku. Suurimmat riskiluvut olivat vioilla, joiden seurauksena raina ei kulje haluttua reittiä, koska sen seurauksena työkalut voivat vaurioitua ja kappaleista ei tule toivotun kaltaisia. Syitä olivat muun muassa haspelin liian hidas pyöriminen, pihtisyöttölaitteen väärä säätö tai kiinnityksien löystyminen. Kiinnityksien löystyminen on todennäköistä, johtuen puristimen toiminnasta, joka iskee nopealla taajuuksella. Ruuvit ja mutterit onkin syytä lukita, joko liimaamalla tai sokittamalla tilanteen mukaan.

Analyysin tuloksena saatiin lisäksi perusteltu ohjausautomaatiikan suunnittelussa huomioon otettava asia. Haspelin toimintaa on tärkeää valvoa, jotta rainan kireys pysyy oikeana, liian nopeasti pyörivä haspeli aiheuttaa kelan purkautumisen ja liian hitaasti pyöriessään se kuormittaa syöttölaitetta ja saattaa aiheuttaa kappaleiden ja työkalujen vaurioitumisen. Myös puristimen rakenteesta aiheutuvan värinän seuraukset tulivat ilmi analyysissä, jonka mukaan kiinnitystarvikkeet, kuten ruuvit ja mutterit ovat lukittava liimaamalla tai sokittamalla, etteivät ne aiheuta vikaantumisia ja vaurioita irrotessaan. Lisäksi havaittiin sama kuin riskiarviossa, että odottamaton käynnistyminen on estettävä, koska tapaturmavaaran lisäksi se voi aiheuttaa työkalujen ja/tai laitteiden vaurioitumisen. Yksi vikaantumisien vakavimmista seurauksista liittyi rainan loppumiseen kelalta. Jos rainan loppumista ei havaita, voi viimeinen kaistale levystä jäädä jumiin työkalujen väliin, josta seuraa arvokkaiden työkalujen tuhoutuminen. Kelan loppumista on siis valvottava ja linja pysäytettävä ennen kuin

rainan pää tulee pihtisyöttölaitteelle. Analyysi on esitetty kokonaisuudessaan liittees-  
sä kuusi.

Kun vikaantumismallit ja seuraukset oli saatu listattua, etsittiin niille ehkäisevät toimenpiteet. Useat vikamuodot olivat asennuksesta ja käyttöönoton aikana ilmeneviä säätö tai vastaavia virheitä, jotka täytyy tarkastaa ennen varsinaisen tuotannon aloittamista. Usealle vikamuodolle määriteltiin visuaalinen tarkastus ja puhdistus määräajoin, jolloin alkava vikaantuminen voidaan havaita ajoissa. Työkalujen teroituksen ajanjakso on riippuvainen valmistettujen kappaleiden lukumäärästä ja tarkemman määrän ja suosituksen tietää työkaluvalmistaja parhaiten. Teroitusväliksi valmistaja arvioi 100-200 000 työiskua, jota tarkennettaisiin valmistuksen aloittamisen ja seurannan mukaan (Vanhanen, J. 2017). Tällöin työkalujen teroitus olisi noin kolme kertaa viikossa, olettaen että konetta käytetään viitenä päivänä viikossa. Silloin työiskuja tulisi  $100 \text{ kpl/min} \times 60 \text{ min/h} \times 10 \text{ h} = 600\,000$  iskua. Työkalujen käyttöikä on yleensä muutamasta miljoonasta kymmeneen miljoonaan työiskua.

Mahdollisesti käytettäessä erillistä voitelulaitetta rainan voiteluun, on sen öljymäärä tarkastettava määräajoin. Tämäkin aikaväli on riippuvainen enemmän koneen käytöstä ja valmistusmääristä kuin kalenteriajasta. Öljymäärä on alussa tarkastettava useammin ja kun kulutus tiedetään tarkemmin, voidaan tarkastus ja lisäysväliä muuttaa siten että öljy ei pääse loppumaan, mutta turhia tarkastuksiakaan ei tehtäisi.

Puristinlinjaan voitaisiin soveltaa hyvin kuntoon perustuvaa kunnossapitoa. Joitain vikaantumisia voitaisiin estää huolehtimalla koneen ja sen ympäristön puhtaudesta, ettei liikkuvien osien väliin pääse epäpuhtauksia aiheuttamaan kulumista. Jopa 60–80 % laakerivioista aiheutuu puutteellisen voitelun tai voiteluaineen epäpuhtauksien takia (Kautto J., 2014). Laakereiden kuntoa voitaisiin tarkkailla esimerkiksi infrapunalämpömittarilla kelan vaihdon yhteydessä, jos kone ei ole ehtinyt seisoa kovin pitkään ennen työntekijöiden paikalle saapumista. Laakereiden kunnonvalvonnassa on kuitenkin muistettava työturvallisuus. Voitelulaitteen ja puristimen öljytasoa voitaisiin valvoa anturein, jotka hälyttäisivät ohjausautomaatiikan ohjaamina esimerkiksi merkkivaloilla. Tällöin säännöllisiä pelkkiä koneisiin kohdistuvia huoltotaukoja voitaisiin vähentää ja tehdä vain tarvittavat tuotantoa ylläpitävät toimenpiteet.

Työkalujen ja pistimien käyttöikä riippuu lävistettävän aineen ominaisuuksista. Yleensä oikea huoltoväli on tapauskohtainen ja se on määriteltävä kyseisen työkalun käyttökokemuksella. Normaalisti leikkaavien terien käyttöikä on muutamasta miljoonasta 10 miljoonaan iskua. Teroitusväli voisi olla esimerkiksi 100–200 000 iskun välein, jolloin kyseisten työkalujen kohdalla teroitus olisi noin 2-4kk välein. Aktiiviosien uusimisväliksi valmistaja suosittelee muutamaa vuotta. Nämä ovat kuitenkin arvioita, eikä tarkkaa määritelmää pysty ennakkoon tekemään, vaan huoltoväli määräytyy käytön ja käytettävien materiaalien mukaan.

## 11 Tulosten arviointi

Työn tuloksina saatiin perustelut valmistamisen aloittamiselle ja tarvittavien koneiden valinnalle. Työkalujen detaljisuunnittelu jätettiin yritykselle, joka tulisi myös valmistamaan tarvittavat työkalut. Valmistajalla on kokemuksensa kautta tietotaito ja näkemys työkalujen suunnitteluun ja siihen liittyviin vaatimuksiin nykyajan teknologiaa hyödyntäen. Pelkän löydettävissä olevan teorian pohjalta työkalujen suunnittelussa ei välttämättä voida hyödyntää kaikkea jo olemassa olevaa tietotaitoa. Myös vastuu työkalun toiminnasta jää näin ollen valmistajalle. Koneiden valintaan vaikuttivat omien laskelmien lisäksi myös työkaluvalmistajien ja eri konemyyjien suositukset, jotka lähes vastasivat toisiaan, joten tuloksia voidaan näin ollen pitää luotettavina.

Työkalujen ja koneiden hankintakustannukset erosivat hyvin suuresti alkuperäisestä arviosta, joka itsellä oli työn alussa. Kustannukset olivat kuitenkin linjassa normaaleihin tilanteisiin, joten koulussa aina liian suuriksi arvioidut aloituskustannukset on todellakin syytä ottaa huomioon suurien investointien kannattavuutta arvioitaessa. Lisäksi aina voi tulla myös ennakoimattomia lisäkustannuksia, joihin on syytä varautua jo suunnitteluvaiheessa.

Kustannuslaskelmien perusteella valmistuksen aloittamisen kannattavuus saatiin todennettua. Takaisinmaksuajaksi laskettiin noin 1,5 vuotta nykyisellä arvioidulla valmistusmäärällä. Laskelmissa arvioitiin kustannukset yläkanttiin ja useita lähtötietoja muokattiin suuntaan ja toiseen, jotta voitiin tarkastella eri muuttujien vaikutus-

ta. Tuotannon aloittaminen pysyi kuitenkin kannattavana, vaikka kysyntä laskisi nykyisestä ja kustannukset nousisivat. Pahimman skenaarion mukaan takaisinmaksuaika venyisi noin 4,5 vuoteen, mutta tällöin kysyntä laskisi jo puoleen nykyisestä.

Vika ja vaikutus analyysillä löydettiin kriittisimmät kohteet ja niiden vikaantumistavat, mutta huoltotoimenpiteiden oikea ajoittaminen oli vaikeaa ilman käytännön kokemusta kyseisistä laitteista. Työkalu- ja konevalmistajilta on kuitenkin mahdollista saada tarkemmat ohjeet huoltotoimenpiteiden aikataulutuksesta toimitusten yhteydessä.

Loppuajatuksena järkevin jatko projektissa olisi investoida edullisimman toimittajan koneisiin ja tilata työkalut ensin kahta kappaleen kokoluokkaa varten ja myöhemmin tarvittaessa kahta muuta kokoa varten. Sen aikaa voitaisiin käyttää alihankintana hankittuja osia, jolloin kertainvestointi ei olisi niin suuri. Tähän ajatukseen myös asiakasyrityksen edustaja oli tyytyväinen, joten työn tavoitteet saavutettiin.

## 12 Pohdinta

Opinnäytetyön aihe oli mielenkiintoinen ja sisälsi monia erilaisia osa-alueita. Työ oli lopulta erittäin laaja-alainen, sekä sen vuoksi haastava. Haastetta lisäsi myös aihealue, josta itsellä oli vain perustietämys pohjalla. Tietoa piti työn etsiä alussa laajalti perusasioista alkaen ja syventyä teoriapohjaan tarkemmin työn edetessä. Uutta asiaa tuli näin ollen opittua paljon ohutlevytekniikoista ja erilaisista mitoitusteknisistä asioista leikkausvälyksiin liittyen. Aihealueeseen liittyvää kirjallisuutta ei suomenkielisenä löytynyt kovin paljoa, mutta kone- ja työkalutoimittajien kanssa käydyt keskustelut toivat paljon arvokasta tietoa eri valintojen perusteluihin. Ulkomaalaisten toimittajien esite- ja teoriamateriaaleista löytyi myös hyviä neuvoja etenkin koneiden ja laitteiden koon määrittämiseen. Työ toi uutta tietoa myös toimeksiantajalle, sekä kattavan laskenta / vertailutaulukon, eri toimittajien vertailua varten. Taulukosta tuli helposti muokattava ja sitä voidaan jatkossa soveltaa myös muiden, hyvinkin erilaisen, asioiden vertailuun.

Itsenäinen työskentely kehitti omaa päättely- ja arvostelukykystä sekä systemaattista toimintaa ongelmien ratkaisun parissa. Työhön olisi voinut käyttää enemmän aikaa ja

itseä olisi kiinnostanut nähdä itse suunniteltujen työkalujen toimivuus, vaikka simulaatiossa, jos ei käytännössä. Suunnitelman aikataulu ei ihan toteutunut viikkotasolla, mutta kokonaisaikataulu pysyi suunnitelman mukaisena. Joihinkin osa-alueisiin, kuten 3D-malleihin käytin aikaa enemmän, kuin mitä lisäarvoa ne työlle toivat. Kaikki esimerkki kuviot ovat itsetehtyjä, vaikka valmiitakin kuvia olisi varmasti ollut mahdollista löytää. Samoin LCC-laskentaan olisi ollut mahdollista käyttää valmiita pohjia, mutta kuten aiemmin kirjoitin, oli oman taulukon muokkaaminen juuri kyseiseen työhön helpompaa, vaikka aikaa sen tekemiseen kuluikin.

Työn tavoitteena oli menetelmien selvitys ja koneiden valinta, joihin löydettiin ratkaisut ja perustelut. Myös alustava kunnossapitosuunnitelma tehtiin, vaikka se jäi teoriapohjaltaan suppeammaksi muuhun työhön nähden. Kunnossapitosuunnitelmasta voisi itsessään tehdä opinnäytetyön, joten sen laaja-alaisuuden vuoksi se tehtiin alustavana, vaikka kohteisiin paneuduttiinkin. Huoltojen ja tarkastusten aikavälit ovat enemmän riippuvaisia käyttöaikaan / valmistusmääriin, kuin kalenteriaikaan. Niitä onkin syytä tarkentaa todellisen käyttömäärän ja valmistajien ohjeiden mukaan. Kunnossapitosuunnitelmasta saatiin myös perusteluita muuhun suunnitteluun, jotka on hyvä ottaa huomioon. Koneinjan säännöllinen visuaalinen tarkastus ja puhdistus on syytä ohjeistaa työntekijöille, erityisesti kun koneen on tarkoitus toimia itsenäisesti ilman jatkuvaa valvontaa. Vaikka kone saattaa vikaantua juuri itsenäisesti toimiessaan, voidaan ajottaisella tarkastuksella havaita mahdolliset vikaantumiset ajoissa ja suunnitella korjaukset etukäteen ennen varsinaisia tuotantokatkoja.

Aivan työn loppuvaiheessa tullut ajatus investoida ensin kahden kokoisten kappaleiden valmistamiseen tarvittaviin työkaluihin, oli asiakasyrityksen mielestä hyvä ja he jatkavat työtä saatuaan lopullisen investointipäätöksen. Koko työn ajan motivaatiota lisäävänä tekijänä oli tieto että tuloksia oikeasti käytetään hyödyksi asiakasyrityksessä.



## Lähteet

Aaltonen, K., Andersson, P. & Kauppinen, V. 1997. Levytyö- ja työvälinetekniikat. 1. painos. Porvoo: WSOY.

Aaltonen, K., Aromäki, M., Ihalainen, E. & Sihvonen, P. 2007. Valmistustekniikka. 12. painos. Helsinki: Otatieto, Gaudeamus Helsinki University Press, HYY-yhtymä.

Progressive Stamping Dies – A Brief History. 2016. Bruderer -laitevalmistajan internet-sivusto. Viitattu 17.2.2017.

<http://www.bruderer.co.uk/company-news/progressive-stamping-dies-brief-history/>

CE-merkintä. N.D. Suomen Standardisoimisliitto SFS, internet julkaisu. Viitattu 24.3.2017.

[http://www.sfs.fi/julkaisut\\_ja\\_palvelut/standardi\\_tutuksi/ce-merkinta](http://www.sfs.fi/julkaisut_ja_palvelut/standardi_tutuksi/ce-merkinta)

Dong, J. Vientipäällikkö. Wuxi NT Metal Products Co. Sähköpostikeskustelu 27.2.2017.

Elomatic lyhyesti. N.D. Viitattu 17.3.2017.

<http://www.elomatic.com/fi/yritys/elomatic-lyhyesti.html>

Elomaticin liikevaihto 55 miljoonaan euroon. Elomatic internetsivuston uutiset, artikkeli 17.01.2017.

<https://www.elomatic.com/fi/elomatic/uutiset/2017/01/17/elomaticin-liikevaihto-55-miljoonaan-euroon/>

Epäkeskopuristin. Kuva. Riikone Oy – internetsivusto. Viitattu 10.2.2017.

<http://www.riikone.fi/uudet-metallintyostokoneet/uudet-levytykoneet-ja-puristimet/>

GPA Italiana puristimet. N.D. Xpress-service, internet sivu. Viitattu 16.3.2017.

<http://xpress-service.fi/koneet-ja-laitteet/pneumaattiset-puristimet/>

Haspeli. Kuva. PA – valmistajan internetsivusto. Viitattu 24.3.2017.

<http://www.pa.com/products/detail.aspx?catid=94>

Herrblitz syöttölaitteet, esite. Viitattu 17.2.2017.

<http://www.suomenedm.fi/sites/default/files/syottolaitteet.pdf>

Hydropneumaattinen puristin. Kuva. GPA -puristimet -esite. Viitattu 10.2.2017.

[http://xpress-service.fi/wp-content/uploads/2015/09/gpa-puristimet\\_esite.pdf](http://xpress-service.fi/wp-content/uploads/2015/09/gpa-puristimet_esite.pdf)

Investoinnin laskenta. N.D. Yritystulkki – sivuston ohjeet. Viitattu 17.3.2017.

<http://www.yritystulkki.fi/fi/alue/vakka/toimiva-yrittaja/investoinnin-laskenta/>

Jonotyökalu. Kuva. Keywordsuggest – kuvagalleria. Viitattu 10.2.2017.

<http://keywordsuggest.org/gallery/853131.html>

Katainen, H. & Mäkinen, A. 1989. Muokkaava ja leikkaava työ. Porvoo: WSOY, WSOY:n graafiset laitokset.

Kauppalehti, yrityshaku. Perustiedot Elomatic Oy. Viitattu 17.2.2017.

<http://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/elomatic+oy/05215342>

Kautto, J. 2014. Kunnanvalvonnan ja diagnostiikan mahdollisuudet. Kaivosalan-yrityskeskittymä-tulosseminaari, 27.2.2014. Viitattu 31.3.2017.

<https://www.businessoulu.com/media/teollisuusforum-materiaalit/oulusta-kaivosalan-yrityskeskittyma-tulosseminaari-27.2.2014/06-juha-kautto-outotec-kunnanvalvonnan-ja-diagnostiikan-mahdollisuudet-20140227.pdf>

Koneturvallisuuden standardit. 2015. Koneturvallisuus esite. Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry.

Kunnossapito, 2006. Kunnossapidon julkaisusarja n:o 10. 3. uudistettu painos. Helsinki: KP-Media Oy

Lamminen, L., Wadman, B., Küttner, R. & Svinnig, T. 2004. Prototyping and low volume production of sheet metal components. Tutkimusraportti, Nordic Industrial Fundin www-sivut. Viitattu 23.3.2017.

<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:707051/FULLTEXT01.pdf>

Metal Forming Simulation. N.D. Autoform –yrityksen internet sivusto. Viitattu 17.3.2017.

<http://www.autoform.com/en/glossary/metal-forming-simulation/>

Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja. Matilainen, J., Parviainen, M., Havas, T., Hiitelä, E. & Hultin, S. 2011. Teknologiateollisuus Ry.

Malmberg, J. 2017. Toimitusjohtaja. Xpress-Service Oy. Sähköpostikeskustelu 16.2.2017.

Martikainen, L. 2006. Ohutlevyn muovattavuuden kuvaaminen rajamuovattavuuspiirroksen avulla. Ohutlevy-lehti 2/2006.

Mate Precision Tooling. 2017. Ohjeita ja tekniikoita. Viitattu 3.3.2017.

<https://www.mate.com/technical-resources/tips-techniques/>

Mate –ohutlevytyökaluluettelo. 2010. Viitattu 17.2.2017.

[https://cdn.mate.com/wp-content/uploads/2015/10/LIT00828\\_Salv\\_III\\_PN\\_2010.pdf](https://cdn.mate.com/wp-content/uploads/2015/10/LIT00828_Salv_III_PN_2010.pdf)

Meidän tarinamme. N.D. Viitattu 17.3.2017.

<http://www.elomatic.com/fi/yritys/meidan-tarinamme.html>

Meskanen, S ja Toivonen, P. N.D. Metallurgian perusteita. Valimotekniikan perusteet. Viitattu 17.3.2017.

[http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/vtp\\_sulatus\\_metallurgia.pdf](http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/vtp_sulatus_metallurgia.pdf)

Moubray, J. 1997. RCM II, Reliability-Centered Maintenance, second edition. Englanti: Industrial Press. 1997

Ohutlevyn muovattavuuden tutkimusta oppimisprojektina. Kauppi T., Linke M., Piisilä N. & Välimaa, S. Ohutlevy -lehti 2/2013. Lehtiartikkeli Kemi-Tornio Ammattikorkeakoulun tutkimuksesta. Viitattu 3.3.2017.

[http://www.ohutlevy.com/pdf/s32-37\\_muovattavuus.pdf](http://www.ohutlevy.com/pdf/s32-37_muovattavuus.pdf)

Outokumpu Stainless AB. 2013. Handbook of Stainless Steel. Espoo: Outokumpu Oy

Pihtisyöttölaite. Kuva. Herrblitz – valmistajan internetsivut. Viitattu 10.2.2017.

[http://www.herrblitz.com/site/dettaglio.php?id\\_noticia=1](http://www.herrblitz.com/site/dettaglio.php?id_noticia=1)

Pursimo, J. 2015. Selvitys elinkaarikustannuslaskennasta julkisissa hankinnoissa.

SFS-EN ISO 12100. Koneturvallisuus. Suojukset. Kiinteiden ja avattavien suojusten suunnittelun ja rakenteen yleiset periaatteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Julk. 24.5.2016. Viitattu 17.7.2017. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

SFS-EN 692 + A1. Metallintyöstökoneet. Mekaaniset puristimet. Turvallisuus. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Julk. 8.1.2010. Viitattu 6.4.2017. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

Siirilä, T. & Kerttula, T. 2009. Koneturvallisuuden perusteet. 2. uusittu painos. Espoo: Opiks.

Smith, A. & Hinchcliffe, G. 2004. RCM Gateway to World Class Maintenance. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.

Strack –työkaluluettelo. 2013. Viitattu 3.3.2017.

[http://www.strack.de/cms/lib/f\\_dbstream.php?tn=tab\\_file&fd=file&mt=application/pdf&id=2237&hxfile&f=F-ST-Buch2\\_Abschnitt\\_9.2A\\_Rollbieger\\_38.1-38.15.pdf](http://www.strack.de/cms/lib/f_dbstream.php?tn=tab_file&fd=file&mt=application/pdf&id=2237&hxfile&f=F-ST-Buch2_Abschnitt_9.2A_Rollbieger_38.1-38.15.pdf)

Sundquist, M. 2009. Uusi konedirektiivi 2006/42/EY ja käsitteet kone, osittain valmis kone sekä koneyhdistelmät. MetSta Ry:n verkkojulkaisu nro. 4/2009. Viitattu 24.3.2017.

[http://www.metsta.fi/www/koneturvallisuuden\\_teemasivut/artikkelit/2009\\_nro\\_004.pdf](http://www.metsta.fi/www/koneturvallisuuden_teemasivut/artikkelit/2009_nro_004.pdf)

Talousmatematiikka. N.D. Oulun yliopiston talousmatematiikan kurssimateriaali. Viitattu 31.3.2017.

<http://cc.oulu.fi/~tvedenju/talousmatematiikka/files/handouts/slides2.pdf>

Tarvainen, J. 2009. Materiaalin käytettävyyys. Tekninen raportti Nro1 Laboratoriopalveluiden tuotteistaminen. Kemi Tornion ammattikorkeakoulu. Viitattu 3.3.2017.

<http://www.tokem.fi/loader.aspx?id=8dcd29f7-56b1-451d-9731-cb9a80045c43>

Tekniikan käsikirja nro.9. 1981. Kahdeksas uusittu painos, neljäs painokerta.

Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta. 4 § Määritelmät. Annettu 12.6.2008. Viitattu 17.3.2017. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080400>

Vanhanen, J. 2014. Liiketoimintapäällikkö. CM-Tools Oy. Sähköpostikeskustelu 13.4.2017.

Voimapaketti. N.D. Maahantuontiliike Auramo Oy:n hydropneumaattisen sylinterin toiminnan esite.

## Liitteet

### Liite 1. Työkalun voimien laskenta

Leikkausvoiman tarve 1		Leikkausvoiman tarve 2		Leikkausvoiman tarve 3	
Leikkauspituus, l	70 mm	Leikkauspituus, l	20 mm	Leikkauspituus, l	3 mm
Ainevahvuus, s	0,3 mm	Ainevahvuus, s	0,3 mm	Ainevahvuus, s	0,3 mm
Leikkausten lkm.	2 kpl	Leikkausten lkm.	2 kpl	Leikkausten lkm.	4 kpl
Murtolujuus, Rm	680 N/mm2	Murtolujuus, Rm	680 N/mm2	Murtolujuus, Rm	680 N/mm2
Max voima	70 %	Max voima	70 %	Max voima	70 %
Pinta-ala, A=l x s x lkm	42,0 mm2	Pinta-ala, A=l x s x lkm	12,0 mm2	Pinta-ala, A=l x s x lkm	3,6 mm2
Leikkausvoima, F=A x Rm	28560 N	Leikkausvoima, F=A x Rm	8160 N	Leikkausvoima, F=A x Rm	2448 N
Leikkausvoima	28,6 kN	Leikkausvoima	8,2 kN	Leikkausvoima	2,4 kN
Koneen voima, F <sub>k</sub> x 70 %	40800 N	Koneen voima, F <sub>k</sub> x 70 %	11657 N	Koneen voima, F <sub>k</sub> x 70 %	3497 N
Koneen voima	40,8 kN	Koneen voima	11,7 kN	Koneen voima	3,5 kN
Koneen voima, F <sub>k</sub> / 9,81	4,2 tn	Koneen voima, F <sub>k</sub> / 9,81	1,2 tn	Koneen voima, F <sub>k</sub> / 9,81	0,4 tn
Leikkausvoiman tarve 4		Taivutusvoiman tarve 1		Taivutusvoiman tarve 2	
Leikkauspituus, l	50 mm	Leikkauspituus, l	60 mm	Leikkauspituus, l	26 mm
Ainevahvuus, s	0,3 mm	Ainevahvuus, s	0,3 mm	Ainevahvuus, s	0,3 mm
Leikkausten lkm.	4 kpl	Leikkausten lkm.	2 kpl	Leikkausten lkm.	1 kpl
Murtolujuus, Rm	680 N/mm2	Murtolujuus, Rm	250 N/mm2	Murtolujuus, Rm	250 N/mm2
Max voima	70 %	Max voima	70 %	Max voima	70 %
Pinta-ala, A=l x s x lkm	60,0 mm2	Pinta-ala, A=l x s x lkm	36,0 mm2	Pinta-ala, A=l x s x lkm	7,8 mm2
Leikkausvoima, F=A x Rm	40800 N	Leikkausvoima, F=A x Rm	9000 N	Leikkausvoima, F=A x Rm	1950 N
Leikkausvoima	40,8 kN	Leikkausvoima	9,0 kN	Leikkausvoima	2,0 kN
Koneen voima, F <sub>k</sub> x 70 %	58286 N	Koneen voima, F <sub>k</sub> x 70 %	12857 N	Koneen voima, F <sub>k</sub> x 70 %	2786 N
Koneen voima	58,3 kN	Koneen voima	12,9 kN	Koneen voima	2,8 kN
Koneen voima, F <sub>k</sub> / 9,81	5,9 tn	Koneen voima, F <sub>k</sub> / 9,81	1,3 tn	Koneen voima, F <sub>k</sub> / 9,81	0,3 tn
Lähtöarvo		Laskeva solu			

Liite 2. Riskiarvio

Vaara	Tyyppi tai tyhmä	Lähde	Elinkaari, työvähe: asetuksen taso	Toiminto / Terähtävi, työkalujen vähäminen, käyttö	Vaaravyöhyke, työskentelejätyökyke	Vaarallanne: työskentele työkalun läheä, työskentele koneella jessa on suojamattomia osia	Vaarallinen tapahtuma: koskettaminen terävin reunoihin	Riski tällä	Riskitaso	Riskitaso (sarallinen arvo)	Korjaat tetahtat turvallisuus tumerapheet	Risk Factor	Jäämisriski	Jäämisriski (sarallinen arvo)	Taso
Nro.								S F O A	ennen tunavomia (numeerinen arvo)	(sarallinen arvo)	(vittauksat demraasin standardehn)	S F O A			
1	1. Mekaaniset vaaratokijät	Kulmikkaat osat	Huolto, puhdistus	Huolto, puhdistus	Leikkausvyöke	Käsin puhdistus, painelmapuhdistus	Käsi jätää välin, vaurioituminen	Puistuminen, vaurioituminen	1 2 1 1	1	Vähäinen riski	Opjastus, työkalujen suuntitiet, suojauksat	1 1 1 1	1	Vähäinen riski
2	1. Mekaaniset vaaratokijät	Liikkuvan kone-e-linen lähesytynnin kintessä osaa	Huolto	Puskimen alaspäin siirtyminen	Työkalujen väli	Laiteen käsittely	Käsi jätää välin	Puistuminen ustin ja kinteen osan välin	2 2 1 1	3	Kohalainen riski	Energian irkitykettä (turvakylki) ennen huoltoa.	2 1 1 1	2	Vähäinen riski
3	1. Mekaaniset vaaratokijät	Liikkuvan kone-e-linen lähesytynnin kintessä osaa	Huolto	Koko pöryökalun irrottaminen vaurioit yhytydessä	Työkalujen, puskimen väli	Työkalun vaihto	Koskettaa ustin ja päädyn väliseen tilaan (ote) - käsi jätää välin	Puistuminen ustin ja kinteen osan välin	2 2 1 1	3	Kohalainen riski	Energian irkitykettä (turvakylki) ennen huoltoa.	2 1 1 1	2	Vähäinen riski
4	1. Mekaaniset vaaratokijät	Liikkuvan kone-e-linen lähesytynnin kintessä osaa	Huolto, puhdistus	Huolto	Via- ja aiatyökalun väli	Laiteen käsittely	Koskettaa ustin ja päädyn väliseen tilaan (ote) - käsi jätää välin	Puistuminen ustin ja kinteen osan välin	2 2 1 1	3	Kohalainen riski	Energian irkitykettä (turvakylki) ennen huoltoa.	2 1 1 1	2	Vähäinen riski
5	1. Mekaaniset vaaratokijät	Liikkuvan kone-e-linen lähesytynnin kintessä osaa	Huolto, puhdistus	Huolto	Via- ja aiatyökalun väli	Laiteen käsittely	Koskettaa ustin ja päädyn väliseen tilaan (ote) - käsi jätää välin	Puistuminen kinteen osan välin	2 1 2 2	3	Kohalainen riski	Energian irkitykettä (turvakylki) ennen huoltoa.	2 1 1 1	2	Vähäinen riski
6	1. Mekaaniset vaaratokijät	Putoavat esineet	Huolto	Koko pöryökalun irrottaminen vaurioit yhytydessä	Puistin	Työkalun putoaminen	Työkalun putoaminen	Jalan puistuminen työkalun ja lattian välin	2 1 2 1	2	Vähäinen riski	Vaurioit yhytykettä, Tosen työtehtäjin apu	2 1 1 1	2	Vähäinen riski
7	1. Mekaaniset vaaratokijät	Putoavat esineet	Kelan vaihto	Kelan asetus	Häpeli	Kelan irrottaminen/putoaminen (pöryö n. 100kg)	Kela kaatuu tai putoaa	Puistuminen kinteen ja lattian välin	2 1 2 1	2	Vähäinen riski	Kelan vaihto suuntitietava, vaurioit yhytykettä	2 1 1 1	2	Vähäinen riski
8	1. Mekaaniset vaaratokijät	Liike-energia	Ajo	Ajo	Puistin	Henkilä läheä püstintä ajon aikana	Käsin irkitykettä (turvakylki)	Isku	2 2 3 1	5	Suuri riski	Suojauksat	2 1 1 1	2	Vähäinen riski
9	1. Mekaaniset vaaratokijät	Liikkuvat kone-elimet	Ajo	Ajo	Puistin	Henkilä läheä püstintä ajon aikana	Henkilä käsi voi jättää mekaniikan välin	Puistuminen	2 2 2 1	4	Kohalainen riski	Suojauksat	2 1 1 1	2	Vähäinen riski
10	1. Mekaaniset vaaratokijät	Liikkuvat kone-elimet	Ajo	Ajo	Via- ja aiatyökalun väli	Työskentele läheä	Henkilä käsi voi jättää mekaniikan välin	Isku, Puistuminen	2 2 2 1	4	Kohalainen riski	Suojauksat	2 1 1 1	2	Vähäinen riski
11	1. Mekaaniset vaaratokijät	Liikkuvat kone-elimet	Käyttötohto	Säätötohto, koptajon aikana		Ajon valmistelu, säätö yms.	Esim. käsi voi jättää rakenteiden välin	Puistuminen	2 1 2 1	2	Vähäinen riski	Käsi käyttötohtinon lääkärin, asetuksat	2 1 2 1	2	Vähäinen riski
12	1. Mekaaniset vaaratokijät	Pöyritä kone-elimet	Ajo	Puistus	Vaurioit yhyä	Henkilä läheä püstintä ajon aikana	Henkilä käsi voi jättää mekaniikan välin	Puistuminen, kertyminen, tärähtäminen	2 2 1 1	3	Kohalainen riski	Suojauksat	2 1 1 1	2	Vähäinen riski
13	1. Mekaaniset vaaratokijät	Terävtä reunat	Työkalun irrotus ja pakollinen asetus	Työkalun irrotus ja pakollinen asetus	Työkalut	Laiteen käsittely	Koskettaminen terävin reuroihin / kummin	Villo / puhkaisu	1 2 2 2	1	Vähäinen riski	Terävtä reunat ohitaa huomoon suuntitietava, Asetus ja huolto suuntitietava	1 1 2 1	1	Vähäinen riski
14	1. Mekaaniset vaaratokijät	Terävtä reunat	Työkalun irrotus ja pakollinen asetus	Työkalun irrotus ja pakollinen asetus	Häpeli	Kelan käsittely	Koskettaminen terävin reuroihin / kummin	Villo / puhkaisu	1 2 3 2	2	Vähäinen riski	Asetus ja huolto suuntitietava, viltkintietäiden käyttö	1 2 2 1	1	Vähäinen riski

Vaara	Tyyppi tai ryhmä	Lähde	Elinkaari, Työväline: asutuksen teko	Toiminto /Tehävä, työkalujen valittaminen, käyttö	Vaaravyöhyke, työskentelyvyöhyke	Vaaratilanne: työskentely työkalun lähellä, työskentely koneella jossa on suojamateriaalia osia	Vaarallinen tapahtuma kosketuttaminen terävin reunoihin	Vaara / Mahdollinen vahinko: sormen ja kärmenen vältyminen työkalun reunoissa	Riski tekijä S F O A	Riskitaso turvatomia (numeerinen arvo)	Riskitaso (sanallinen arvo)	Koneelle tehtävät turvallisuus toimenpiteet	Risk Factor S F O A	Jäännösriski	Jäännösriski
Nro.	Standardin EN ISO 14121-1 mukaan									ennen turvatomia (numeerinen arvo)	(sanallinen arvo)	(vittaukset olennaisin standardeihin)		turvatoimen jälkeen (numeerinen arvo)	Taso (sanallinen arvo)
15	2. Sähköistä johtuvat vaarat	Jännitteelliset osat	Ajo sekä huolto	Koneen käyttöhuolto	Koneen läheisyys	Jännitteellisen osien kosketuttaminen	Sähköisku	Palovamma, kuolema	2 2 1 1	3	Kohtalainen riski	Kaapeleiden suojaus, maadoitus	2 1 1 1	2	Vähäinen riski
16	2. Sähköistä johtuvat vaarat	Ylikuormitus	Ajo	Koneen käyttö	Koneen läheisyys	Jännitteellisen osien kosketuttaminen	Sähköisku	Palovamma, kuolema	2 2 1 2	4	Kohtalainen riski	Koneen ja kaapeloinnin oikea mitoitus	2 1 1 1	2	Vähäinen riski
17	2. Sähköistä johtuvat vaarat	Vikatilanteiden vuoksi jännitteelliset tulleet osat	Huolto	Vikatilanne	Koneen läheisyys	Jännitteellisen osien kosketuttaminen	Sähköisku	Palovamma, kuolema	2 1 1 2	2	Vähäinen riski	Kaapeleiden suojaus, maadoitus	2 1 1 1	2	Vähäinen riski
18	2. Sähköistä johtuvat vaarat	Olosuiku	Ajo	Ylikuorma, kaapelin vauroittuminen	Koneen läheisyys	Jännitteellisen osien kosketuttaminen, tulipalo	Sähköisku, tulipalo	Palovamma, kuolema	2 2 2 1	4	Kohtalainen riski	Koneen ja kaapeloinnin oikea mitoitus, suojaukset	2 1 1 1	2	Vähäinen riski
19	3. Lämpötilasta johtuvat vaarat	Ei ole													
20	4. Melusta johtuvat vaarat	Vamistumisenestelmä (meistä minen, leikkaaminen jne.)	Ajo	Oleskelu laitteen luona aion aikana	Koneen läheisyys	Lekkurin työväline	Jatkuvaa alitustunnen melulle	Kuuloaivo	1 2 3 2	2	Vähäinen riski	Laitteen suunnittelu	1 2 2 2	1	Vähäinen riski
21	4. Melusta johtuvat vaarat	Viheltävä pneumaattikka	Ajo	Oleskelu laitteen luona aion aikana	Koneen läheisyys	Pl-venttiilien purkuaänet	Jatkuvaa alitustunnen iskerälle melulle	Kuuloaivo	1 2 3 2	2	Vähäinen riski	Ahvenvaimentimet venttiilihin	1 2 3 2	2	Vähäinen riski
22	5. Tärinästä johtuvat vaarat	Liikkuvien osien väärä konditus	Ajo	Oleskelu laitteen luona aion aikana	Koneen läheisyys	Osien säilyminen, ritoarat kappaleet	Irtovien kappaleiden osuminen	Silmävaurio, villoit	2 2 1 1	3	Kohtalainen riski	Suojaukset	2 1 1 1	2	Vähäinen riski
23	6. Säteilyästä johtuvat vaarat	Ei ole													
24	7. Materiaaleista tai aineista johtuvat vaarat	Ahioraina / linja	Ajo	Oleskelu laitteen luona aion aikana	Koneen läheisyys	Poslekatut ritokappaleet	Pienet terävät kappaleet	Silmävaurio	2 2 2 1	4	Kohtalainen riski	Suojaukset	2 1 1 1	2	Vähäinen riski
25	7. Materiaaleista tai aineista johtuvat vaarat	Ahioraina / linja	Ajo	Oleskelu laitteen luona aion aikana	Koneen läheisyys	Poslekatut ritokappaleet	Pienet terävät kappaleet	Villoit	1 2 2 1	1	Vähäinen riski	Suojaukset	1 1 1 1	1	Vähäinen riski
26	8. Ergonomiasta johtuvat vaarat	Mittarien ja näyttöjen rakenne tai sijoittelu	Ohjaus yms	Laitteen käynnistämisen ja sammuttamisen	Koneen läheisyys	Tahaton käynnistyminen pöhtuen sekavuudesta, puutteellisista merkinnöistä yms.	Henkilön alitustunnen laitteen voimakkaalle vaara-alueella	Vakava vamma	1 2 1 1	1	Vähäinen riski	Käytöittymän ja hallintalaitteiden sijoitus ja merkintä standardeja noudattaen	1 2 1 1	1	Vähäinen riski
27	8. Ergonomiasta johtuvat vaarat	Pomistelu	Työkalun vaihto	Työkalun vaihto	Puristin	Työkalun paino 15kg	Fyysinen ylikuormitus	Tuvelivamma	2 1 2 1	2	Vähäinen riski	Vaihtotyön suunnittelu, Tosen työtehtäjän apu	2 1 1 1	2	Vähäinen riski
29	8. Ergonomiasta johtuvat vaarat	Pomistelu	Ajo sekä huolto	Työskentely laitteella	Haspeli	Kelan kaatumisen/putoaminen (paino n.100kg)	Fyysinen ylikuormitus	Tuvelivamma, puristuminen	2 2 2 1	4	Kohtalainen riski	Kelan vaihto suunniteltava, vaihtotyön kehitys, nostopuuvälineet	2 2 1 1	3	Kohtalainen riski
30	9. Koneen käyttöympäristöstä johtuvat vaarat	Kondevalaistus	Ajo sekä huolto	Työskentely laitteella	Koneen läheisyys	Hämäyssä työskentely	Henkilön ja fyysinen ylikuormitus	Päänsakky, väsymys	1 2 2 1	1	Vähäinen riski	Pieni riski	1 2 2 1	1	Vähäinen riski
31	10. Vaaratekijöiden yhdistelmät	Odotannaton käynnistytminen	Huolto	Saadot ja asutukset	Puristin	Työskentely laitteen lähellä	Kone lähtee liikkeelle yläältä	Puristuminen välin	2 2 2 1	4	Kohtalainen riski	Turvakytkin, paneelin syytön kaksaisu, kultiautomito	2 1 1 1	2	Vähäinen riski
32	10. Vaaratekijöiden yhdistelmät	Energian syötön katkeaminen	Automaatiajo	Uudelleen käynnistys	Puristin	Työskentely laitteen lähellä	Työskentely laitteen tarkastelu (kosketelu)	Puristuminen välin	2 2 2 1	4	Kohtalainen riski	Kultiautomito uudelleen käynnistettäessä	2 1 1 1	2	Vähäinen riski

### Liite 3. Alihankkijoiden vertailu

Kustannus	Nykyinen	Valmistaja 1	Valmistaja 2	Valmistaja 3	Valmistaja 4	Valmistaja 5	Valmistaja 6
Kustannus KA	0,09 €/kpl	0,01 €/kpl	0,01 €/kpl	0,01 €/kpl	0,02 €/kpl	€/kpl	€/kpl
Kustannus KA	5353 €/m3	751,06 €/m3	329,00 €/m3	752,00 €/m3	1410,00 €/m3	€/m3	0,07 €/kpl
Vertailuarvo 1	114000 yksikkö	87720 yksikkö	135000 yksikkö	101160 yksikkö	101150 yksikkö	0 yksikkö	4111,53 €/m3
Vertailuarvo 2	228 yksikkö	161 yksikkö	255 yksikkö	429 yksikkö	272 yksikkö	0 yksikkö	360 yksikkö
Vertailuarvo 3	235 yksikkö	171 yksikkö	241 yksikkö	180 yksikkö	185 yksikkö	0 yksikkö	290 yksikkö
Vertailuarvo 4	97,0 % yksikkö	96,7 % yksikkö	96,8 % yksikkö	96,0 % yksikkö	96,0 % yksikkö	0,0 % yksikkö	96,0 % yksikkö
Vertailuarvo 1	60250 yksikkö	38160 yksikkö	50200 yksikkö	24680 yksikkö	24680 yksikkö	145193 yksikkö	340 yksikkö
Vertailuarvo 2	241 yksikkö	155 yksikkö	231 yksikkö	365 yksikkö	228 yksikkö	275 yksikkö	230 yksikkö
Vertailuarvo 3	170 yksikkö	123 yksikkö	161 yksikkö	112 yksikkö	112 yksikkö	250 yksikkö	98,0 % yksikkö
Vertailuarvo 4	97,0 % yksikkö	97,8 % yksikkö	97,1 % yksikkö	96,0 % yksikkö	96,0 % yksikkö	97,0 % yksikkö	98,0 % yksikkö
Vertailuarvo 1	22571,43 yksikkö	11310 yksikkö	15000 yksikkö	10400 yksikkö	10400 yksikkö	74000 yksikkö	230 yksikkö
Vertailuarvo 2	158 yksikkö	129 yksikkö	149 yksikkö	251 yksikkö	174 yksikkö	310 yksikkö	150 yksikkö
Vertailuarvo 3	115 yksikkö	79 yksikkö	104 yksikkö	75 yksikkö	75 yksikkö	215 yksikkö	98,0 % yksikkö
Vertailuarvo 4	98,0 % yksikkö	98,2 % yksikkö	98,1 % yksikkö	96,0 % yksikkö	96,0 % yksikkö	98,0 % yksikkö	98,0 % yksikkö
Vertailuarvo 1	12700 yksikkö	8400 yksikkö	8400 yksikkö	45500 yksikkö	45500 yksikkö	45500 yksikkö	160 yksikkö
Vertailuarvo 2	127 yksikkö	142 yksikkö	142 yksikkö	240 yksikkö	240 yksikkö	240 yksikkö	100 yksikkö
Vertailuarvo 3	90 yksikkö	85 yksikkö	85 yksikkö	180 yksikkö	180 yksikkö	180 yksikkö	98,0 % yksikkö
Vertailuarvo 4	98,0 % yksikkö	98,2 % yksikkö	98,2 % yksikkö	98,0 % yksikkö	98,0 % yksikkö	98,0 % yksikkö	98,0 % yksikkö
Vertailuarvo 1	4250 yksikkö	4250 yksikkö	4600 yksikkö	3320 yksikkö	3320 yksikkö	3320 yksikkö	163 yksikkö
Vertailuarvo 2	112 yksikkö	112 yksikkö	113 yksikkö	245 yksikkö	163 yksikkö	163 yksikkö	58 yksikkö
Vertailuarvo 3	55 yksikkö	55 yksikkö	62 yksikkö	58 yksikkö	58 yksikkö	58 yksikkö	97,0 % yksikkö
Vertailuarvo 4	97,0 % yksikkö	97,0 % yksikkö	98,6 % yksikkö	97,0 % yksikkö	97,0 % yksikkö	97,0 % yksikkö	97,0 % yksikkö



## Liite 4. LCC – laskenta, lähtötiedot

LCC laskenta				
Toimittajat	Toimittaja 1	Toimittaja 2	Toimittaja 3	Toimittaja 4
<b>Investoinnit</b>				
Koneet Alv 0%	50 000 €	50 000 €	0 €	0 €
Epäkeskopuristin			34 500 €	28 300 €
Pihtisyöttölaite			2 840 €	2 360 €
Haspeli			6 650 €	6 920 €
Työkalut Alv 0%	140 000 €	150 000 €	140 000 €	140 000 €
Asennus/käyttöönotto	3 000 €	3 000 €	3 000 €	3 000 €
Suojaukset	0 €	0 €	0 €	0 €
Yhteensä Alv 0%	193 000 €	203 000 €	186 990 €	180 580 €
Jäännös-arvo Alv 0%	10 000 €	10 000 €	5 000 €	0 €
Yhteensä Alv 24%	239 320 €	251 720 €	231 868 €	223 919 €
Arvolisävero 24 %				
<b>Käyttö</b>				
Tahtiaika	100 kpl/min	100 kpl/min	100 kpl/min	100 kpl/min
Sähköteho, P	6,0kW	6,0kW	6,1kW	2,6kW
Energian kulutus/a, P x t	2820 kWh	2820 kWh	2844 kWh	1208 kWh
Energian kustannus/a	620 €	620 €	626 €	266 €
Valmistuksen vaatima aika	470 h/a	470 h/a	470 h/a	470 h/a
Valmistuksen vaatima aika	59 d/a	59 d/a	59 d/a	59 d/a
<b>Kelan vaihto</b>				
Kelan massa, m <sub>kela</sub>	250 kg	250 kg	250 kg	250 kg
Kelan vaihto aika, t <sub>vaihto</sub>	0,5 h	0,5 h	0,5 h	0,5 h
Vaihtokustannus, K <sub>vaihto</sub>	60 €/h	60 €/h	60 €/h	60 €/h
Kelan vaihtokerrat/a, valmistusmäärä / m <sub>kela</sub>	40 kpl/a	40 kpl/a	40 kpl/a	40 kpl/a
Kelan vaihtokustannus/kpl, t <sub>vaihto</sub> x K <sub>vaihto</sub>	30 €	30 €	30 €	30 €
Kelan vaihto vuodessa, vaihtokustannus x lkm	1 186 €	1 186 €	1 186 €	1 186 €
<b>Työkalujen vaihto</b>				
Työkalujen vaihto aika	2,0 h	2,0 h	2,0 h	2,0 h
Vaihtokustannus	60 €/h	60 €/h	60 €/h	60 €/h
Työkalujen vaihtokerrat/a	8 kpl/a	8 kpl/a	8 kpl/a	8 kpl/a
Työkalujen vaihtokustannus/a	960 €	960 €	960 €	960 €
<b>Muut säännölliset kulut</b>				
Kunnossapito vuodessa	3 000 €	3 000 €	3 000 €	3 000 €
Kulu 2 vuodessa				
Kulu 3 vuodessa				
Kustannukset yhteensä	5 766 €	5 766 €	5 772 €	5 412 €
<b>Tuotot € / vuodessa, vanha kustannus - kulut/a</b>	214 492 €	214 492 €	214 487 €	214 847 €
<b>Lähtöarvo</b>		<b>Laskeva solu</b>		

## Liite 5. LCC – laskenta, tulokset

Toimittaja 1		Toimittaja 2							
Tulot	Muut kulut	Kulut	Investoinnit	Yhteensä	Tulot	Muut kulut	Kulut	Investoinnit	Yhteensä
Vuosi 1	250 000 €	75 339 €	186 990 €	-12 329 €	Vuosi 1		74 979 €	180 580 €	-5 559 €
Vuosi 2	250 000 €	75 339 €		174 661 €	Vuosi 2		74 979 €		175 021 €
Vuosi 3	250 000 €	75 339 €		174 661 €	Vuosi 3		74 979 €		175 021 €
Vuosi 4	250 000 €	75 339 €		174 661 €	Vuosi 4		74 979 €		175 021 €
Vuosi 5	250 000 €	1 000 €	5 000 €	168 661 €	Vuosi 5	1 000 €	75 979 €	5 000 €	169 021 €
Vuosi 6	250 000 €	75 339 €		174 661 €	Vuosi 6		74 979 €		175 021 €
Vuosi 7	250 000 €	75 339 €		174 661 €	Vuosi 7		74 979 €		175 021 €
Vuosi 8	250 000 €	75 339 €		174 661 €	Vuosi 8		74 979 €		175 021 €
Vuosi 9	250 000 €	75 339 €		174 661 €	Vuosi 9		74 979 €		175 021 €
Vuosi 10	250 000 €	1 000 €	5 000 €	168 661 €	Vuosi 10	1 000 €	75 979 €	5 000 €	169 021 €
Vuosi 11	250 000 €	75 339 €		174 661 €	Vuosi 11		74 979 €		175 021 €
Vuosi 12	250 000 €	75 339 €		174 661 €	Vuosi 12		74 979 €		175 021 €
Vuosi 13	250 000 €	75 339 €		174 661 €	Vuosi 13		74 979 €		175 021 €
Vuosi 14	250 000 €	75 339 €		174 661 €	Vuosi 14		74 979 €		175 021 €
Vuosi 15	250 000 €	75 339 €		174 661 €	Vuosi 15		74 979 €		175 021 €
KA	250 000 €	1 000 €	65 663 €	161 395 €	KA	1 000 €	75 112 €	63 527 €	162 182 €
Yhteensä	3 750 000 €	2 000 €	196 990 €	2 420 927 €	Yhteensä	2 000 €	1 126 686 €	190 580 €	2 432 734 €
Lähtöarvo		Laskeva solu							

# Liite 6. Vika ja vaikutusanalyysi

EEE / 3.4.2017

Kunnossapito

Vika- ja vaikutusanalyysi												
Puristinlinja		Vian seuraukset		Riski-luku		Toimenpide		Toimenpide		Ajanjakso edelliselle	Seisokin kesto	Lisätiedot
Po Osa	Vikamuoto	Vika	Vian seuraukset	Vian syyn todennäköisyys	Vian syyn todennäköisyys	Havaitsemisen todennäköisyys	RPN	Estävä toimenpide	Määräaikainen toimenpide	(h)		
1 Haspeli	1.1 Kela ei pyöri	1.1.1 Moottori palanut	Tuotanto seis	5	2	1	10	Kelan pyörimisen valvonta ja linjan pysäytys vikatilanteessa	Hätäpysäytyksen toiminnan tarkastus	12 kk		
		1.1.2 Kontaktori ei kytke	Tuotanto seis	5	3	1	15	Kelan pyörimisen valvonta ja linjan pysäytys vikatilanteessa	Hätäpysäytyksen toiminnan tarkastus	12 kk		
		1.1.3 Taajuusmuuttaja ei toimi	Tuotanto seis	5	2	1	10	Kelan pyörimisen valvonta ja linjan pysäytys vikatilanteessa	Hätäpysäytyksen toiminnan tarkastus	12 kk		
		1.1.4 Kaapeli poikki	Tuotanto seis	5	1	1	5	Kelan pyörimisen valvonta ja linjan pysäytys vikatilanteessa	Kaapeleiden kunnan tarkastus	12 kk		
	1.2 Kela pyöri liian hitaasti	1.2.1 Taajuusmuuttaja väärin ohjelmointi	Raina kirstyy, pihitisyöttölaite ylikuormittuu, raine ei etene työväiheisiin oikein	5	1	3	15	Rainan kireyden valvonta ja haspelin säätäminen sen mukaan, linjan pysäytys vikatilanteessa				
		1.2.2 Ohjaus väärin säädetty	Raina kirstyy, pihitisyöttölaite ylikuormittuu, raine ei etene työväiheisiin oikein	5	1	3	15	Rainan kireyden valvonta ja haspelin säätäminen sen mukaan, linjan pysäytys vikatilanteessa				
		1.2.3 Laakeri jumiutuu	Raina kirstyy, pihitisyöttölaite ylikuormittuu, raine ei etene työväiheisiin oikein	5	3	3	45	Rainan kireyden valvonta ja haspelin säätäminen sen mukaan, linjan pysäytys vikatilanteessa	Laakereiden tarkastus ja voitelu	12 kk		
	1.3 Kela pyöri liian nopeasti	1.3.1 Taajuusmuuttaja väärin ohjelmointi	Raina löystyy, ennen syöttölaitea, kela purkautuu	3	1	2	6	Rainan kireyden valvonta ja haspelin säätäminen sen mukaan, linjan pysäytys vikatilanteessa				
		1.3.2 Ohjaus väärin säädetty	Raina löystyy, ennen syöttölaitea, kela purkautuu	3	1	2	6	Rainan kireyden valvonta ja haspelin säätäminen sen mukaan, linjan pysäytys vikatilanteessa				



Vika- ja vaikutusanalyysi							Puristinlinja			Toimenpide		Toimenpide		Seisokin kesto		Lisätiedot	
Po	Osa	Vikamuoto	Vika	Vian seuraukset	Vian syyn todennäköisyys	Vikamuodon vakavuus	Vian syyn todennäköisyys	Havaitsemisen todennäköisyys	Riski-luku	Estävä toimenpide	Määräaikainen toimenpide	Ajanjakso edelliselle	Seisokin kesto	Lisätiedot			
4	Pihitsyttölaitte	4.1 Raina siirtyy liikaa eteenpäin	4.1.1 Vastin kulunut	Raina ei pysy oikeassa paikassa työkalujen välissä, valmistusvirheet, työkalujen vaurioituminen	5	2	2	20	10	Tarkastettava käyttöönoton yhteydessä	Pihitsyttölaitteen toiminnan ja kunnon tarkastus	12 kk					
			4.1.2 Iskunkiputus väärin säädetty	Raina ei pysy oikeassa paikassa työkalujen välissä, valmistusvirheet, työkalujen vaurioituminen	5	1	2	10	10	Tarkastettava käyttöönoton yhteydessä							
		4.2 Raina ei siirry tarpeeksi eteenpäin	4.2.1 Iskunkiputus väärin säädetty	Raina ei pysy oikeassa paikassa työkalujen välissä, valmistusvirheet, työkalujen vaurioituminen	5	1	2	10	10	Tarkastettava käyttöönoton yhteydessä							
			4.2.2 Johteet takertavat	Raina ei pysy oikeassa paikassa työkalujen välissä, valmistusvirheet, työkalujen vaurioituminen	5	2	3	30	30		Pihitsyttölaitteen toiminnan ja kunnon tarkastus	12 kk					
			4.2.3 Raina liian kireällä	Raina ei pysy oikeassa paikassa työkalujen välissä, valmistusvirheet, työkalujen vaurioituminen	5	3	3	45	45	Rainan kireyden valvonta ja haspelin säätäminen sen mukaan, linjan pysäytys vikatilanteessa							
		4.3 Raina kulkee vinoon	4.3.1 Johteet kuluneet	Raina ei pysy oikeassa paikassa työkalujen välissä, valmistusvirheet, työkalujen vaurioituminen	5	2	3	30	30		Pihitsyttölaitteen toiminnan ja kunnon tarkastus	12 kk					
			4.3.2 Syöttölaitte väärin säädetty	Raina ei pysy oikeassa paikassa työkalujen välissä, valmistusvirheet, työkalujen vaurioituminen	5	1	2	10	10								
			4.3.3 Syöttölaitteen kinnitys löysällä	Raina ei pysy oikeassa paikassa työkalujen välissä, valmistusvirheet, työkalujen vaurioituminen	5	2	2	20	20	Kiinnityksen lukitseminen, ruuvien liimaus/sokitus	Pihitsyttölaitteen toiminnan ja kunnon tarkastus	12 kk					
		4.4. Rainaan jää jalkia	4.4.1 Ohjainrullan laakeri jumittuu	Ulkonäkövirheitä kappaleissa	1	3	2	6	6		Pihitsyttölaitteen toiminnan ja kunnon tarkastus	12 kk					
			4.4.2 Ohjainrulla vaurioitunut	Ulkonäkövirheitä kappaleissa	1	3	2	6	6		Pihitsyttölaitteen toiminnan ja kunnon tarkastus	12 kk					
			4.4.3 Laakeri jumittunut	Ulkonäkövirheitä kappaleissa	2	2	2	8	8		Pihitsyttölaitteen toiminnan ja kunnon tarkastus sekä ...	12 kk					

Vika- ja vaikutusanalyysi					Puristinlinja										
Po Osa	Vikamuoto	Vika	Vian seuraukset		Vian syy	Vian vakavuus	Vian syyn todennäköisyys	Riski-luku	Toimenpide		Toimenpide		Ajanjakso edelliselle	Seisokin kesto	Lisätiedot
Nro	Laite/komponentti					1-5	1-5	RPN	Estävä toimenpide	Määräaikainen toimenpide			(h)		
5	Epäkeskopuristin	5.1 Moottori ei pyöri	5.1.1 Moottori palanut	Tuotanto seis	5	2	1	10							
			5.1.2 Kontaktori ei kytke	Tuotanto seis	5	3	1	15							
			5.1.3 Häätäyskytkeyden aktivointineena	Tuotanto seis	5	2	1	10							
			5.1.4 Kaapeli poikki	Tuotanto seis	5	1	1	5							
			5.1.5 Sulake palanut	Tuotanto seis	5	2	1	10							
			5.1.6 Tuvakytkin pois päältä	Tuotanto seis	5	2	1	10							
	5.2 Moottori pyöri liian hitaasti		5.2.1 Ohjaus väärin säädetty	Tuotantomäärä ei pysy haluttuna	4	2	2	16	Tarkastettava käyttöönnoton yhteydessä	Puristimen toiminnan ja kunnan tarkastus			12 kk		
			5.2.2 Laakerointi jumittuu	Tuotantomäärä ei pysy haluttuna	4	2	2	16		Laakereiden tarkastus ja voitelu			12 kk		
			5.2.3 Moottorin käämissä eristevaurio	Tuotantomäärä ei pysy haluttuna	5	1	3	15	Lämpötilakytkin	Puristimen toiminnan ja kunnan tarkastus			12 kk		
	5.3 Moottori kuumenee		5.3.1 Moottorin käämissä eristevaurio	Moottori vaurioituu, eristyslakka palaa	3	2	3	18	Lämpötilakytkin	Puristimen toiminnan ja kunnan tarkastus sekä puhdistus			12 kk		
			5.3.2 Moottorin jäähdytys puutteellinen, pölykerros	Moottori vaurioituu, eristyslakka palaa	3	4	2	24		Moottorin puhdistus pölystä			12 kk		
	5.4 Luisti liikkuu svuununnassa		5.4.1 Johteet kuluneet	Työkalujen johteet kuormittuvat enemmän	3	1	3	9		Puristimen toiminnan ja kunnan tarkastus, puhdistus ja voitelu			12 kk		
	5.5 Puristin tarvitsee epätavallisesti		5.5.1 Epätasapaino	Puristin tai oheislaitteet vaurioituvat, kiinnitykset löystyvät	4	1	2	8							
			5.5.2 Osien kiinnitys löystynyt	Puristin tai oheislaitteet vaurioituvat, kiinnitykset löystyvät	4	3	2	24		Kiinnityksen ja ruuvien kireyden tarkastus			12 kk		
	5.6 Puristin pitää epänormaalia ääntä		5.6.1 Puutteellinen voitelu, epapuhdauksia	Laakerointi leikkaa kiinni, tuotanto seis	4	2	3	24		Laakereiden voitelu, koneen kunnonvalvonta			6 kk		
			5.6.2 Komponentteja löystynyt, hankaaminen liikkuviin osiin	Komponentit vaurioituvat, tuotanto seis	3	2	2	12	Kiinnityksen lukitseminen, ruuvien liimaus/sokitus	Puristimen toiminnan ja kunnan tarkastus			12 kk		
	5.7 Puristimen sulake palaa		5.7.1 Oikosulku moottorissa / kaapeleissa	Tuotanto seis	4	1	1	4		Kaapeleiden suojaus mekaanisilta vaurioilta					
	5.8 Puristimen akseli ei pyöri		5.8.1 Iskupiirros väärin säädetty	Tuotanto seis, työkalut vaurioituvat	5	1	1	5		Tarkastettava käyttöönnoton yhteydessä					

Vika- ja vaikutusanalyysi				Puristulinja			Vian seuraukset		Riski-luku	Toimenpide		Toimenpide	Ajanjakso edelliselle	Seisokin kesto	Lisätiedot
Po	Osa	Vikamuoto	Vika	Vian syy	Vian ilmeneminen	Vian seuraukset	Vian syyn todennäköisyys	Vikamuodon vakavuus							
6	Jonotyökalut	6.1 Kappaleet ovat virheellisiä	6.1.1 Työkalu kulunut liikaa / vaurioitunut	6.1.2 Pihlisyttölaite väärin säädetty, raina ei siirry seuraavaan vaiheeseen	6.1.3 Työkalu vaurioitunut	Kappaleet eivät ole halutun muotoisia	5	2	1	10	Estävä toimenpide	Määräaikaan toimenpide	####	(h)	Aikaväli tarkastettava tuotantomäärien mukaan
						Kappaleet eivät ole halutun muotoisia, työkalujen vaurioituminen	5	3	3	45	Tarkastettava käyttönoton yhteydessä				
						Kappaleet eivät ole halutun muotoisia	5	2	2	20	Kiinnityksen ja ruuvien kireyden tarkastus		12 kk		
		6.2 Kappaleet jäävät kiinni rainaan	6.2.1 Työkalu kulunut liikaa / vaurioitunut			Kappaleet eivät irtoa rainasta	4	2	1	8	Työkalujen kunnan tarkastus / leikkaavien särmien teroitus		####		Aikaväli tarkastettava tuotantomäärien mukaan
7	Ohjausjärjestelmä	7.1 Valmistuslinja ei käynnisty	7.1.1 Virtakytkin ei kytke			Tuotanto seis	5	2	2	20					
			7.1.2 Hätäpysäytys			Tuotanto seis	5	2	1	10					
			7.1.3 Sulake palanut			Tuotanto seis	5	2	1	10					
			7.1.4 Suoja pois paikoiltaan			Tuotanto seis	5	2	1	10					
		7.2 Haspeli ei käynnisty	7.2.1 Johto poikki			Tuotanto seis	5	2	1	10					
		7.3 Haspeli ei pyöri riittäväällä nopeudella	7.3.1 Rainan kireys mitataan väärin			Raina kiristyy, pihlisyttölaite ylikuormittuu, raina ei etene työvaiheisiin oikein	5	2	3	30	Rainan kireyden valvonta ja haspelin säätäminen sen mukaan, linjan pysäytys vikatilanteessa				
		7.4 Haspeli pyörii liian nopeasti	7.4.1 Rainan kireys mitataan väärin			Raina löystyy, ennen syöttölaitea, kela purkautuu	5	2	3	30	Rainan kireyden valvonta ja haspelin säätäminen sen mukaan, linjan pysäytys vikatilanteessa				
		7.5 Tuotantomäärä ei ole riittävä	7.5.1 Puristimen nopeus säädetty väärin			Tuotantomäärä ei pysy haluttuna	4	2	2	16					
		7.6 Linja ei pysähdy rainan loppuessa	7.6.1 Rainan loppumista ei havaita			Rainan viimeinen patkä jää työkalujen väliin, työkalujen vaurioituminen	5	2	3	30	Rainan loppumista valvottava				
			7.6.2 Rainan loppumista valvova anturi ei toimi			Rainan viimeinen patkä jää työkalujen väliin, työkalujen vaurioituminen	5	1	5	25					
		7.7 Linja ei pysähdy häiriötilanteessa	7.7.1 Rajakytkimiä ohitettu			Tapaturmavaara, työkalujen ja laitteiden vaurioituminen	5	2	4	40	Rajat ja suojat rakennettava siten että vaarinkäyttö ei ole mahdollista				
		7.8 Linja käynnistyy odottamattomasti	7.8.7 Ohjaus väärin suunniteltu			Tapaturmavaara, työkalujen ja laitteiden vaurioituminen	5	1	1	5	Ohjaus tehtävä siten että odottamaton käynnistymine ei ole mahdollista				